

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES

CÁTEDRA DE PROYECTOS

**“Diseño de una impresora 3D capaz de
crear múltiples objetos simultáneamente”**

PROYECTO FIN DE CARRERA

Nº 13406046

MEMORIA



RAFAEL BOBO GARCÍA

SEPTIEMBRE 2013

Universidad Politécnica de Lappeenranta



La *Lappeenranta University of Technology* (con sus siglas LUT o *Lappeenrannan Teknillien Yliopisto* en Finlandés) se encuentra ubicada en la provincia de Carelia del Sur, en Finlandia. Fue fundada en 1969, a la orilla del lago Saimaa, el mayor de Finlandia y uno de los más grandes de Europa. Su campus se encuentra a unos 7 kilómetros del centro de la ciudad, y lo comparte con la “Saimaa University of Applied Sciences”.

Entre los años 1950 y 1960 el gobierno Finlandés hizo planes para ubicar la Universidad Este de Finlandia en Lappeenranta, pero finalmente dicha universidad fue descentralizada en tres ciudades, Lappeenranta, Kuopio y Joensuu. Por aquellos años solo los departamentos de ingeniería se habían construido, por lo que permaneció así hasta 1991, cuando se añadió también el departamento de “*Business Administration*”



A día de hoy, uno de los pilares fundamentales de la ideología de LUT es la “energía verde” y el desarrollo sostenible. A su vez, y en parte debido a su ventajosa situación geográfica, la Universidad pretende ser uno de los más importantes centros universitarios en continua cooperación con la vecina Rusia, compartiendo diferentes conocimientos y alojando a un gran número de estudiantes e investigadores rusos. Además, LUT considera muy importante la cooperación con la empresa, por lo que mantiene una estrecha relación con diferentes compañías, tanto de la zona como internacionales, potenciado especialmente por el Centro Tecnológico Kareltex. Además, la Lappeenranta University of Technology es una universidad pública, y mantenida con fondos públicos, como todas las universidades Finlandesas.

Como reflejo de todo lo anterior, en 2011 LUT comenzó el proyecto “Green Campus”, intentando conseguir un ambiente de desarrollo educacional e investigador único. Mediante diferente subproyectos, y basándose en toda la experiencia en energías y sus innovaciones adquirida, el Green Campus es un ejemplo de cómo la tecnología puede ser usada para resolver problemas medioambientales y construir un mundo más sostenible.

La universidad está formada por unos 930 empleados y alrededor de 5.700 estudiantes, con unas cifras crecientes año tras año. LUT ofrece a los alumnos una experiencia formativa muy personalizada, siendo posible crear un currículum académico

según el interés del alumno, decidiendo asignaturas y metodologías, pudiendo obtener con ello diferentes grados, másteres y doctorados en ciencias, ingeniería y economía y negocios.

Los anteriores títulos se pueden obtener mediante las tres facultades principales, y colaborando con los diferentes centros de investigación:

- Facultad de Tecnología:
 - Departamento de Tecnología Química
 - Departamento de Ingeniería Eléctrica
 - Departamento de Tecnología Energética
 - Departamento de Ingeniería Mecánica
 - Departamento de Ingeniería, Física y Matemáticas
 - Departamento de Ingeniería medioambiental
- Facultad de Tecnología de Gestión:
 - Departamento de Organización Industrial
 - Departamento de Tecnología de la Información
- Escuela de Negocios:
 - Contabilidad
 - Derecho de empresas
 - Finanzas
 - Marketing Internacional
 - Tecnología y Gestión de la Innovación Internacional
 - Organización del conocimiento
 - Gestión y Organizaciones
 - Investigación Estratégica
 - Gestión Logística
- Institutos de Investigación:
 - Centre for Separation Technology (CST)
 - Technology Business Research Center (TBRC)
 - Northern Dimension Research Centre (NORDI)
 - Carelian Drives and Motor Centre (CDMC)
 - FiberLaboratory
 - Centre of Computational Engineering and Integrated Design (CEID)

Cabe destacar que LUT ofrece diferentes programas de Máster acreditados internacionalmente, tanto impartidos en finés como en inglés. Por ejemplo el Máster en Marketing Internacional fue certificado con EFMD's EPAS durante los próximos cinco años, así como un reconocimiento ACE y ASIIN para los programas de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Química, Ingeniería Energética, Ingeniería Medioambiental, y Organización Industrial.

LUT MECHANICAL ENGINEERING

Aunque como se ha descrito anteriormente todos los departamentos de la Universidad están altamente interconectados, pudiendo crear un currículo académico con asignaturas de múltiples facultades (es el caso del autor de este proyecto, combinando Ingeniería Energética e Ingeniería Mecánica), a modo de detalle, y debido a que este Proyecto sí ha sido realizado bajo el amparo del departamento de Ingeniería Mecánica, a continuación se le dedican unas líneas.

“Heavy as metal, hard as steel”

El departamento de Ingeniería mecánica ha sido diseñado para ser un nexo de unión entre expertos e investigadores de alta calidad en diferentes tecnologías de producción y tecnología del metal, intentando a su vez estar en contacto con las necesidades de la ciencia, las empresas y la sociedad para dar solución a todos esos problemas.



Uno de los núcleos de las habilidades del departamento es el continuo desarrollo de las últimas tecnologías digitales de diseño y producción, como por ejemplo estructuras soldadas, tecnología láser, técnicas de empaquetado y tratamiento de compuestos de fibras, siendo éstas punteras y a la vanguardia de lo demandado por las más modernas empresas. Estas habilidades se desarrollan en diferentes subdepartamentos como Diseño Virtual, Diseño de Máquinas, Tecnología Láser, Estructuras Metálicas, Mecatrónica, Producción, Tecnologías de Soldado y Tecnologías de Empaquetado y Fibras.

Experiencia Integrada: Con esta idea de integración, el departamento de Ingeniería Mecánica intenta abarcar el amplio rango de conceptos que incluye todo el proceso de creación de un producto de ingeniería mecánica. Desde la fase de diseño, selección de materiales, fabricación, producción, y montaje hasta su utilidad y durabilidad son consideradas de una forma interactiva y relacionada, sobre la que aplicar la pericia del Ingeniero Mecánico.

Además, una de las claves es concentrar las investigaciones en el uso de los más modernos procesos de producción, con gran integración de toda la tecnología digital. Por otro lado el departamento tiene como principio el ser accesible, y establecer vínculos con la sociedad local, permitiendo crear una gran interacción con las diferentes empresas así como generando un entorno inspirador y actual.

Por último, destacar que los títulos de Grado y Máster en Ingeniería Mecánica obtenidos mediante el departamento están internacionalmente acreditados por EUR-ACE y ASIIN. Esto garantiza una enseñanza de alta calidad, enfoque internacional y continua mejora.

PREFACIO

La memoria de este proyecto está formada por diferentes partes. En primer lugar se encuentra un resumen en español de la memoria original en inglés. Dicho resumen está elaborado a partir de una traducción al español de la memoria completa, pero eliminando ciertas partes, con el objetivo de sintetizar el texto así como añadiendo algunos comentarios aclaratorios.

A continuación aparece la memoria original, escrita en inglés y entregada en la universidad de destino. Dicha memoria está dividida en cinco partes principales y consta de un total de 15 capítulos divididos entre dichas partes.

En la **Parte I** se sientan las bases del proyecto mediante el capítulo de antecedentes. En él se describen los principios básicos de la tecnología de impresión 3D. Además se resumen los diferentes avances tecnológicos y su historia, su desarrollo y las ventajas e inconvenientes mas genéricos, para poder contextualizar el proceso de diseño que va a venir a continuación.

En la **Parte II** comienza dicho proceso de diseño. Antes de pasar a decisiones de diseño concretas, se plantean con claridad los objetivos del proyecto. Se especifican algunos requerimientos de la máquina y a lo largo del Capítulo 3 se van definiendo las partes principales que cualquier impresora 3D debe tener, comentando brevemente sus problemas típicos y sus posibles mejoras, siempre desde una visión global. A continuación, en el Capítulo 4 se van sentando las bases de lo que podría ser un nuevo diseño mediante la comparación de los diferentes aspectos generales intentando descartar los no interesantes pasando así un primer filtro de conceptos.

En la **Parte III**, y gracias a la ya adquirida visión general se concretan las propiedades básicas de lo que va a ser el diseño definitivo. Para ello en el Capítulo 5 se pasa de ideas generales a plantear dos diseños concretos y realistas, y por último se argumenta la decisión de desarrollar el modelo completo de uno de ellos.

En la **Parte IV** comienza el diseño CAD de la impresora a desarrollar. En el Capítulo 6 se presentan algunas especificaciones y limitaciones generales, y ya en los siguientes capítulos se pasa a desarrollar, parte por parte, el aspecto de la impresora. Como proceso de diseño de una máquina completa, mencionar que todas las partes están claramente relacionadas entre sí, por lo que el proceso es iterativo y complejo, pero se resume de la manera más clara posible mediante el uso de tablas y la presentación de imágenes renderizadas del modelo 3D. También a lo largo de estos capítulos se realizan las diferentes comprobaciones y cálculos mecánicos, criterios importantes para decidir cada diseño.

En la **Parte V** se presentan las conclusiones del proyecto. En primer lugar en el Capítulo 13 se divide la estructura de los resultados obtenidos y por último en los

Capítulos 14 y 15 se mencionan las contribuciones técnicas más relevantes así como los posibles futuros trabajos.

Concluidas estas cinco partes, siguen a la memoria los diferentes anexos:

En el **Anexo I** se presenta de forma sintetizada una tabla que resume los materiales que componen la impresora 3D. En dicha tabla se incluyen en algunos casos ciertos datos, como precios, pesos o referencias, que pueden ser de gran utilidad y son un buen complemento al modelo CAD

En el **Anexo II** se muestra la lista de referencias más importantes, utilizadas a lo largo de todo el proyecto. Se encuentran numeradas según van apareciendo en la memoria.

En el **Anexo III** se encuentra la planificación del proyecto, básicamente consistente en un diagrama de Gantt con los diferentes procesos.

En el **Anexo IV** se encuentra el presupuesto detallado.

Por último, en el **Anexo V**, y también como complemento al diseño CAD se presentan los informes obtenidos en los diferentes estudios mecánicos de las piezas críticas. Dichos informes son resultados de salida automática mediante SolidWorks, a los que se les ha añadido algunos comentarios, si bien es solo una muestra de la gran cantidad de documentación que se puede obtener ejecutando el modelo.

ÍNDICE

Universidad Politécnica de Lappeenranta	2
LUT MECHANICAL ENGINEERING.....	4
PREFACIO	5
ÍNDICE	7
LISTA DE FIGURAS	14
LISTA DE TABLAS	19
RESUMEN	21
PARTE I: INTRODUCCIÓN	22
Capítulo 1. Antecedentes.....	22
1.1 IMPRESIÓN 3D.....	22
1.2 HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D	23
1.3 EL PROYECTO REPRAP	25
1.4 DESARROLLO DE LA IMPRESIÓN 3D	26
1.5 IMPRESIÓN 3D COMO NEGOCIO.....	26
1.5.1 Impresoras Hobby:.....	26
1.5.2 Impresoras Industriales.....	27
1.6 VENTAJAS COMPETITIVAS.....	29
1.6.1 Fabricación económicamente eficiente.....	29
1.6.2 Producción rápida	29
1.6.3 Ahorro de material.....	29
1.6.4 Alta calidad y nuevos perfiles.....	29
1.6.5 Económica	30
1.7 DESVENTAJAS DE LA IMPRESION 3D.....	30
1.7.1 Material	30
1.7.2 Estructura	30
1.7.3 Tamaño del producto impreso.....	31
1.7.4 Productividad	31
PARTE II: LA IMPRESORA 3D: DISEÑO GENERAL.....	32
Capítulo 2. Objetivos del proyecto.....	32
Capítulo 3. Partes principales, problemas de diseño y posibles mejoras	32

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE UNA IMPRESORA 3D.....	32
3.2 EXTRUSOR	33
3.2.1 Problemas típicos en extrusores.....	34
3.2.2 Posibles mejoras en extrusores.....	34
3.2.3 Comparativa entre las diferentes opciones	36
3.2.4 Componentes impresos	36
3.2.5 Componentes no impresos	37
3.2.6 Componentes del motor y controlador	38
3.2.7 Tornillo perfilado.....	38
3.2.8 Comparación final sobre extrusores	39
3.3 MOVIMIENTO LINEAL EN COORDENADAS X E Y	39
3.3.1 Basado en dos barras lisas y rodamientos	39
3.3.2 Basado en un carril perfilado	39
3.3.3 Robot delta.....	40
3.3.4 Tabla de comparación de sistemas cinemáticos.....	40
3.4 BOQUILLA	41
3.4.1 Calentar y fundir la fibra de ABS	41
3.4.2 Guiar y concentrar la impresión.....	41
3.5 SUBSTRATO O CAMA TÉRMICA.....	43
3.5.1 Movimiento de la cama	44
Capítulo 4. Comparativa de diferentes diseños	46
4.1 TABLAS DE COMPARACIÓN.....	46
4.2 CONCLUSIONES PRINCIPALES DE LA COMPARATIVA.....	48
PARTE III: NUEVOS DISEÑOS	49
Capítulo 5. Concretando el diseño definitivo.....	49
5.1 PROPUESTA DE DISEÑO 1.....	49
5.2 PROPUESTA DE DISEÑO 2.....	51
5.3 DECISION FINAL.....	52
PARTE IV: DISEÑO CAD.....	53
Capítulo 6. Visión general del proceso de diseño	53
6.1 LIMITACIONES DIMENSIONALES	54
Capítulo 7. Extrusor y rollos de filamento.....	55

7.1 MOTOR	55
7.2 RUEDAS DENTADAS.....	56
7.3 CÁLCULOS DE PAR	56
7.4 VELOCIDAD LIMITE DE EXTRUSIÓN	57
7.5 RESUMEN DE DISEÑO DEL EXTRUSOR	58
Capítulo 8. Cama térmica	59
8.1 RESUMEN DE DISEÑO DE LA CAMA TÉRMICA	59
Capítulo 9. Cabezal y bloque de sujeción de las boquillas	61
9.1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	61
9.2 TEST MECÁNICO	61
9.2.1 Selección de la pieza a estudiar	61
9.2.2 Restricciones de movimiento	62
9.2.3 Fuerzas externas.....	62
9.2.4 Resultados de la simulación	63
9.3 RESUMEN DE DISEÑO DEL CABEZAL	65
Capítulo 10. Boquillas	67
10.1 RESUMEN DE DISEÑO DE LAS BOQUILLAS	67
Capítulo 11. Railes perfilados	68
11.1 CONSIDERACIONES GENERALES	68
11.2 RESUMEN DE DISEÑO PARA EL MOVIMIENTO EN LA COORDENADA X.	69
11.3 RESUMEN DE DISEÑO PARA EL MOVIMIENTO EN LA COORDENADA Y.	72
11.4 RESUMEN DE DISEÑO PARA EL MOVIMIENTO EN LA COORDENADA Z.	74
Capítulo 12. Cálculos estructurales mediante Toolbox.....	77
12.1 INTRODUCCIÓN A TOOLBOX	77
12.2 RESULTADOS DEL TEST MEDIANTE TOOLBOX.....	78
PARTE V: CONCLUSIONES	79
Capítulo 13. Resultados.....	79
Capítulo 14. Contribuciones técnicas del proyecto.....	82
Capítulo 15. Futuros trabajos	83

Índice	10
PART I: INTRODUCTION	88
Chapter 1. Background	88
1.1 3D PRINTING.....	88
1.2 HISTORY OF 3D PRINTING:	89
1.3 THE REPRAP PROJECT	90
1.4 CONTINUOUS DEVELOPMENT OF 3D PRINTING	91
1.5 PRINTING AS A BUSINESS:	92
1.5.1 Hobby printers:	92
1.5.2 Industrial printers:	92
1.6 COMPETITIVE ADVANTAGES OF 3D PRINTING:	95
1.6.1 Cheap manufacturing:.....	95
1.6.2 Quick production:.....	95
1.6.3 No material loss:.....	95
1.6.4 Good Quality and new shapes:	95
1.6.5 Affordability.....	96
1.7 DISADVANTAGES OF 3D PRINTING	96
1.7.1 Material	96
1.7.2 Structural.....	96
1.7.3 Size.....	96
1.7.4 Productivity	97
PART II: A 3D PRINTER.....	98
Chapter 2. Goal of the project.....	98
Chapter 3. Main parts, design issues and improvements.	98
3.1 OVERVIEW OF A 3D PRINTER	98
3.2 EXTRUDER	99
3.2.1 Typical problems of extruders.....	100
3.2.2 Possible improvements in extruders.....	100
3.2.3 Comparison of different options.....	102
3.2.4 Printed parts.....	102
3.2.5 Non-printed parts:.....	103
3.2.6 Nozzle parts:.....	104
3.2.7 Stepper motor and stepper motor driver carrier:	105

3.2.8 Hobbed bolt:.....	105
3.2.9 Final Extruder Comparison	106
3.3 LINEAR X AND Y MOTION	106
3.3.1 Based on two smooth bars and bearings:.....	107
3.3.2 Based on single profiled rail:	107
3.3.3 Delta robot:	107
3.4 NOZZLE	108
3.4.1 To heat and melt the fiber of plastic:.....	108
3.4.2 To guide and focus the printing:	108
3.5 HEATED BED	111
3.5.1 Flatness of the bed	111
3.5.2 Straightness of the bed	111
3.5.3 Adherence of the bed.....	111
3.5.4 Rigidity and vibrations of the bed	112
3.5.5 Size of the bed	112
3.5.6 Movement of the bed	112
3.6 HOW TO TRANSMIT THE MOVEMENT	114
3.7 KINEMATICS SYSTEMS COMPARISON	114
Chapter 4. Comparison of different designs	115
4.1 COMPARISON TABLES	115
4.2 MAIN CONCLUSSIONS OF COMPARISONS:	116
PART III: NEW DESIGNS.....	117
Chapter 5. Focusing the design	117
5.1 PROPOSED DESIGN 1.....	117
5.2 PROPOSED DESIGN 2.....	119
5.3 FINAL DECISION	120
PART IV: CAD DESIGN.....	121
Chapter 6. Overview of the design process.....	121
6.1 SIZE LIMITATIONS.....	122
Chapter 7. Extruder and filament rolls	123
7.1 STEPPER MOTOR	123
7.2 GEARED WHEELS	124

7.3 TORQUE CALCULATIONS	124
7.4 EXTRUSION SPEED LIMIT	126
7.5 WHERE TO PLACE THE EXTRUDER.....	126
7.6 EXTRUDER DESIGN SUMMARY.....	127
Chapter 8. Heated Bed	128
8.1 HEATED BED MAIN PARTS.....	128
8.2 HEATED BED CONNECTOR	128
8.3 DESIGN PROCESS.....	128
8.4 DESIGN SUMMARY	130
Chapter 9. Header and nozzles holder	132
9.1 GENERAL CONSIDERATIONS.....	132
9.2 MECHANICAL TESTING	133
9.2.1 Selecting the piece of study	133
9.2.2 Restrictions of movement.....	133
9.2.3 External Forces	134
9.2.4 Results of the simulation.....	135
9.3 HEADER DESIGN SUMMARY.....	137
Chapter 10. Nozzles	139
10.1 GENERAL CONSIDERATIONS.....	139
10.2 DESIGN SUMMARY	139
Chapter 11. Profiled rails	141
11.1 GENERAL CONSIDERATIONS.....	141
11.2 MOVEMENT ON X COORDINATE	143
11.2.1 General overview	143
11.2.2 Length of the rail	143
11.2.3 Carriage system and connection.....	143
11.2.4 Placing the fixation.....	144
11.2.5 Mechanical test of the carriage connector	144
11.2.6 Transmission of the movement	145
11.2.7 Belt system	145
11.2.8 Mechanical test of the X motor-belt holder	145
11.2.9 DESIGN SUMMARY OF X COORDINATE.....	147

11.3	MOVEMENT ON Y COORDINATE	150
11.3.1	General Overview.....	150
11.3.2	Length of the Y profile.....	150
11.3.3	Connecting different arms	150
11.3.4	Placing the arm.....	150
11.3.5	Stability of the arm.....	151
11.3.6	Mechanical Testing.....	152
11.3.7	DESIGN SUMMARY OF Y COORDINATE.....	153
11.4	MOVEMENT ON Z COORDINATE	155
11.4.1	General considerations	155
11.4.2	Placing the stepper motors.....	155
11.4.3	Stepper Motor Holder.....	156
11.4.4	Mechanical Testing of Z motor holder	156
11.4.5	Fixation of the base	157
11.4.6	DESIGN SUMMARY OF Z COORDINATE.....	158
Chapter 12.	Structural calculations by Toolbox.....	161
12.2	THE MECHANICAL TEST	162
PART V:	CONCLUSIONS	163
Chapter 13.	Results.....	163
Chapter 14.	Technical contributions of the project	166
Chapter 15.	Future works	167
ANEXO I:	LISTA DE MATERIALES	168
ANEXO II:	REFERENCIAS	171
ANEXO III:	PLANIFICACIÓN Y DIAGRAMA DE GANTT	173
ANEXO IV:	TESTS MECÁNICOS DETALLADOS	175

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Sistema de impresión 3D.....	23
Fig. 2 FDM	24
Fig. 3 Impresora autoreplicante.....	25
Fig. 4 AM Landscape	27
Fig. 5 Infografía Mercado impresoras 3D [41]	28
Fig. 6 Ejemplo de pieza de formas complejas.....	29
Fig. 7 Rollos de ABS	30
Fig. 8 Estructura de soporte.....	30
Fig. 9 Esquema de componentes de una impresora 3D	32
Fig. 10 Extrusor dentado	33
Fig. 11 Sistema de extrusión	33
Fig. 12 Extrusor de Ed Bowden	35
Fig. 13 Bloque de estrusor Wade.....	36
Fig. 14 Bloque de alojamiento Wade.....	37
Fig. 15 Rueda Wade 1	37
Fig. 16 Rueda Wade 2	37
Fig. 17 Tornillo perfilado	38
Fig. 18 Barras y cojinetes	40
Fig. 20 Robot delta	40
Fig. 19 Railes perfilados.....	40
Fig. 21 Boquilla	41
Fig. 22 Bloque de boquilla.....	41
Fig. 23 Tipos de boquilla	41
Fig. 24 X-crossed nozzles.....	42
Fig. 25 Cross crossed nozzles	42
Fig. 26 Linear Y nozzles.....	42
Fig. 27 Linear X nozzles	43
Fig. 28 Impresora Cartesio	43
Fig. 29 Movimiento relativo cama-cabezal	45
Fig. 30 Montaje modular.....	50
Fig. 31 Impresora printrobot.....	51
Fig. 32 Croquis de distribución de las boquillas.....	52
Fig. 33 Diseño completo en fase alfa	54
Fig. 34 Nema 17	55
Fig. 35 Rueda dentada pequeña	56
Fig. 36 Rueda dentada grande	56
Fig. 37 Extrusor diseñado.....	58
Fig. 38 Cama térmica simple	59
Fig. 39 Conexión entre bloques de camas	59

Fig. 40 Bloque sujeción camas	59
Fig. 41 Tornillos reguladores de altura	59
Fig. 42 Diseño Final de la cama térmica.....	60
Fig. 43 Modelo de cabezal	61
Fig. 44 Selección de la pieza de estudio.....	61
Fig. 45 Restricciones de movimiento	62
Fig. 46 Resumen de fuerzas	62
Fig. 47 Von-Mises	63
Fig. 48 Deformación	63
Fig. 49 Deformaciones cabezal aluminio	64
Fig. 50 Conexión simétrica del cabezal	65
Fig. 51 Nervios del cabezal.....	65
Fig. 52 Conexión del bloque boquilla.....	65
Fig. 53 Conexión al carro.....	65
Fig. 57 Resumen de diseño del cabezal	66
Fig. 54 Conexión de la correa.....	66
Fig. 55 Test mecánico del cabezal.....	66
Fig. 56 Diseño final del cabezal	66
Fig. 58 Boquilla	67
Fig. 59 Conexión al cabezal	67
Fig. 60 Bloque sujeción boquilla	67
Fig. 61 Ejemplos de marcas de raíles	68
Fig. 62 Rail <i>metric 25</i>	68
Fig. 63 Raíles de la marca <i>Open Rails</i>	68
Fig. 64 Raíl perfilado.....	69
Fig. 65 Carro	69
Fig. 66 Correa y rodamiento	69
Fig. 67 Motor y correa.....	70
Fig. 68 Conector de brazo	70
Fig. 69 Tope de goma.....	70
Fig. 70 Final raíl X	71
Fig. 71 Raíl perfilado.....	72
Fig. 72 Movimiento en Y	72
Fig. 73 Columnas simétricas.....	73
Fig. 74 Final Y.....	73
Fig. 75 Sistema de movimiento en Z.....	74
Fig. 76 Pieza de sujeccion del motor en Z.....	74
Fig. 77 Brazo Z	74
Fig. 78 Alojamiento tornillo sin fin	75
Fig. 79 Pie estandarizado	75
Fig. 80 Final Z.....	76

Fig. 81 80/20 Toolbox.....	77
Fig. 82 Resultados mediante toolbox.....	78
Fig. 83 CAD Final 1.....	80
Fig. 84 CAD Final 2.....	81
Fig. 85 3D Printing system.....	89
Fig. 86 FDM	90
Fig. 87 Self-Replicating	91
Fig. 88 AM Landscape	93
Fig. 89 3D printing market infography [41].....	94
Fig. 90 New shapes.....	95
Fig. 91 ABS rolls	96
Fig. 92 Holding structure.....	96
Fig. 93 3D printer schema	98
Fig. 94 Geared Extruder	99
Fig. 95 Extruding system	99
Fig. 96 Ed's Bowden Extruder	101
Fig. 97 Wade's Extruder block	102
Fig. 98 Wade's Idler block	103
Fig. 99 Wade's gear 1.....	103
Fig. 100 Wade gear 2.....	103
Fig. 101 Hobbed bolt.....	106
Fig. 102 Bars and bearings	107
Fig. 103 Profiled rails.....	107
Fig. 104 Delta arms	108
Fig. 105 Nozzle overview.....	108
Fig. 106 Brass block.....	108
Fig. 107 Nozzle types.....	109
Fig. 108 X-crossed nozzles.....	109
Fig. 109 Cross crossed nozzles	110
Fig. 110 Linear Y nozzles	110
Fig. 111 Linear X nozzles	110
Fig. 112 Cartesio printer.....	110
Fig. 113 Bed/header movement	113
Fig. 114 Modular assembly	118
Fig. 115 Printrbot	119
Fig. 116 Nozzles distribution sketch.....	120
Fig. 117 First complete CAD model.....	122
Fig. 118 Nema 17	123
Fig. 119 Small gear	124
Fig. 120 Large gear	124

Fig. 121 Designed extruder	127
Fig. 122 Bed's screws	129
Fig. 123 Bed	130
Fig. 124 Bed holder's connection.....	130
Fig. 125 Bed's holder.....	130
Fig. 126 Height calibration	130
Fig. 127 Final Heated Bed	131
Fig. 128 Header Sketch.....	132
Fig. 129 Selecting the piece	133
Fig. 130 Fixtures	133
Fig. 131 Forces.....	134
Fig. 132 Von-Mises results	135
Fig. 133 Deformation	135
Fig. 134 Aluminum header	136
Fig. 135 Header joint	137
Fig. 136 Header's nervs.....	137
Fig. 137 Nozzle connection	137
Fig. 138 Carriage connection	137
Fig. 142 Header Design summary	138
Fig. 139 Belt connection.....	138
Fig. 140 Header's mechanical testing	138
Fig. 141 Final header	138
Fig. 143 Brass made nozzle	139
Fig. 144 Nozzle connection	140
Fig. 145 Final nozzle	140
Fig. 146 Profiled rails.....	141
Fig. 147 Metric 25 profiled rail.....	141
Fig. 148 Open rails.....	141
Fig. 149 80/20 Series 25	142
Fig. 150 Rubber bump.....	143
Fig. 151 Profiled rail connector	144
Fig. 152 Connector displacements.....	144
Fig. 153 Standard Belt	145
Fig. 154 Von Mises Z motor holder	146
Fig. 155 Deformation X motor holder	146
Fig. 156 Profiled Rail.....	147
Fig. 157 Carriage.....	147
Fig. 158 Belt and bearing	147
Fig. 159 Stepper and belt	148
Fig. 160 Arm connector.....	148
Fig. 161 Rubber bump.....	148

Fig. 162 Final X-Rail	149
Fig. 163 CAD model overview 2	151
Fig. 164 Y mechanical test.....	152
Fig. 165 Profiled rail	153
Fig. 166 Y movement.....	153
Fig. 167 Dual columns	154
Fig. 168 Final Y.....	154
Fig. 169 Screw driving	155
Fig. 170 Nut's place	155
Fig. 171 Z Motor holder	156
Fig. 172 Z motor holder deformation 1	156
Fig. 173 Z Motor holder 2	157
Fig. 174 Z movement system	158
Fig. 175 Z motor holder.....	158
Fig. 176 Z Arm	158
Fig. 177 Screw receptor	159
Fig. 178 Standardized base attachment	159
Fig. 179 Final Z.....	160
Fig. 180 80/20 Toolbox.....	161
Fig. 181 Toolbox results	162
Fig. 182 Final CAD 1.....	164
Fig. 183 Final CAD 2.....	165
Fig. 184 Gantt Chart	174

LISTA DE TABLAS

Table. 1 Extrusor dentado. Componentes impresos [25]	37
Table. 2 Extrusor dentado. Componentes no impresos [25]	38
Table. 3 Comparaciones de motores de pasos	38
Table. 4 Comparación de extrusores	39
Table. 5 Comparacion de sistemas cinemáticos	40
Table. 6 Distribución de boquillas.....	43
Table. 7 Requerimientos y soluciones	46
Table. 8 Comparativa de diseños mediante factores	47
Table. 9 Diseño 1	50
Table. 10 Diseño 2	52
Table. 11 Especificaciones Nema 17	55
Table. 12 Especificaciones Nema 17-2	56
Table. 13 Tabla resumen del extrusor	58
Table. 14 Resumen de diseño de la cama térmica	60
Table. 15 Resumen de diseño de las boquillas	67
Table. 16 Resumen de diseño de la coordenada X	71
Table. 17 Resumen de diseño de la coordenada Y	73
Table. 18 Resumen de diseño de la coordenada Z	76
Table. 19 Geared Extruder, printed parts [25].....	103
Table. 20 Geared Extruder, Non printed parts [25]	104
Table. 21 Nozzle parts	105
Table. 22 Stepper motor comparison	105
Table. 23 Extruder comparison	106
Table. 24 Kinematics comparison	108
Table. 25 Nozzles distribution.....	110
Table. 26 Heated bed weight	114
Table. 27 Requirements and solutions	115
Table. 28 Designs comparison	116
Table. 29 Design 1	118
Table. 30 Design 2	120
Table. 31 Nema 17 specifications	123
Table. 32 Nema 17 specifications 2	124
Table. 33 Extruder design summary	127
Table. 34 Heated bed's design summary.....	131
Table. 35 Nozzle's design summary.....	140
Table. 36 Design summary of X coordinate	149
Table. 37 Design summary of Y coordinate	154
Table. 38 Design summary of Z coordinate	160

Table. 39 Bill of materials.....	170
Table. 40 Gantt.....	173
Table. 41 Presupuesto Estudios previos	Presupuesto
Table. 42 Presupuesto Diseño CAD.....	Presupuesto
Table. 43 Presupuesto Elaboración memoria	Presupuesto
Table. 44 Presupuesto Fases.....	Presupuesto
Table. 45 Presupuesto Total desglosado	Presupuesto
Table. 46 Presupuesto Prototipo	Presupuesto

RESUMEN

PARTE I: INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es explicar en detalle todo el proceso de diseño de una **“Impresora 3D capaz de crear múltiples objetos simultáneamente”**.

Para ello, en primer lugar se le presentarán al lector descripciones sobre las diferentes partes que forman una impresora 3D como base para entender toda posible mejora. A pesar de ello, y si se desea profundizar aún más en el tema, se recomienda como mejor opción el seguir e indagar en las diferentes referencias que van citándose a lo largo del texto. Afortunadamente, las tecnologías de impresión 3D son relativamente modernas, por lo que hay una gran cantidad de información de calidad digitalizada y accesible para todo el mundo en diferentes páginas webs. El panorama es incluso mejor, pues estas tecnologías suelen estar basadas en licencias del tipo *“Creative commons”*¹ y similares, cuya base es el acceso libre y gratuito. Debido a esto es sencillo encontrar innumerables fuentes de información y una gran comunidad de desarrolladores deseosos de ayudar a cualquiera que quiera iniciarse. El mejor ejemplo de esta mentalidad de compartir es la página de tipo wiki *“Reprap.org”*.

Además de lo anterior, cabe destacar que el punto principal del proyecto no es explicar cómo funciona o se ensambla una impresora 3D, sino centrarse en conseguir una mejora competitiva como es la impresión de múltiples objetos. Pese a todo en esta memoria se encontrarán explicaciones generales para sentar los antecedentes necesarios.

Capítulo 1. Antecedentes

1.1 IMPRESIÓN 3D

En primer lugar, ¿qué es imprimir? Una definición sencilla podría ser “marcar en papel u otro substrato con letras o cualquier otro carácter gráfico”. La diferencia entre imprimir y la impresión 3D reside en que en el segundo caso se logra un producto tridimensional.

Las tecnologías de impresión 3D están basadas en las denominadas “tecnologías de procesos aditivos”. Este concepto de fabricación aditiva describe a las tecnologías en las que un objeto es creado mediante la definición de una secuencia de capas. En otras palabras, una sección transversal es impresa en un substrato 2D, y mediante el

¹ Creative Commons es una organización no lucrativa, con sede en Mountain View, en el estado de California. Esta organización fue creada para usar y compartir la creatividad y el conocimiento mediante una serie de mecanismos jurídicos que lo permiten realizar de forma gratuita. [40]

movimiento de este sustrato capa a capa en la coordenada Z, se obtiene un producto en tres dimensiones.

Aunque todas las tecnologías de impresión 3D comparten las mismas bases, es importante diferenciar entre “**laser printing**” y “**fused deposition**”. Las diferencias principales son la fuente de calor y el material impreso. Este proyecto se va a centrar en impresoras de plásticos, también conocidas como “*hobby printers*”. De cualquier forma, la siguiente figura es un buen ejemplo de cómo estas tecnologías trabajan:

HOW 3D PRINTING WORKS

3D printers work like inkjet printers. Instead of ink, 3D printers deposit the desired material in successive layers to create a physical object from a digital file.

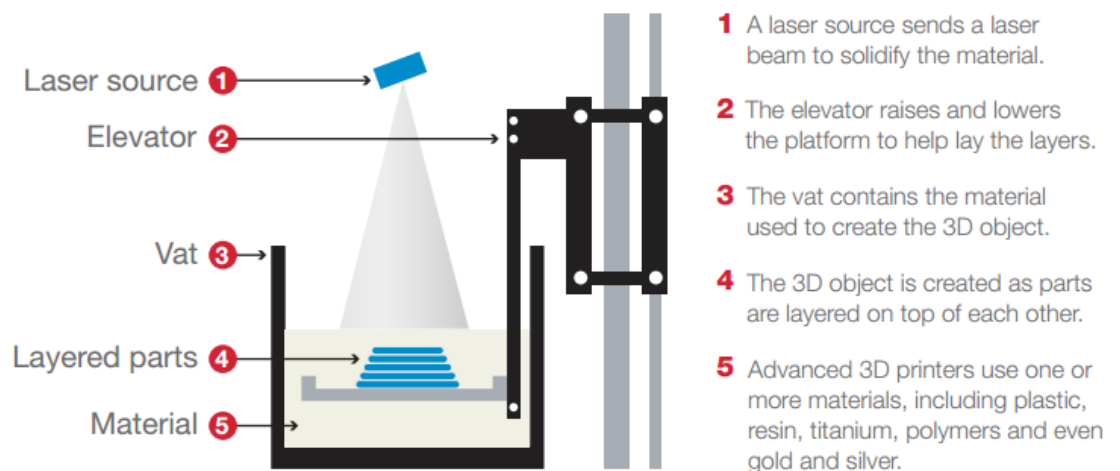


Fig. 1 Sistema de impresión 3D

Mediante esta tecnología es posible obtener diferentes piezas sólidas a partir de un modelo digital y siempre sin usar las clásicas tecnologías de mecanizado. Además, una de las ventajas principales es la capacidad de estas impresoras de crear casi cualquier tipo de perfil en las diferentes piezas, con formas complejas que serían casi imposibles con técnicas tradicionales. También destaca la capacidad de resultar en un objeto físico, totalmente listo para el uso directamente desde el modelo 3D, sin necesidad de pasar por otros intermediarios. [1]

1.2 HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D

Diferentes procesos de impresión 3D han sido inventados y siguen en desarrollo desde finales de 1970. Como en muchas de las tecnologías modernas, como por ejemplo la informática, estas máquinas eran, en un primer momento, grandes, caras y con una

importante cantidad de limitaciones; pero con el paso de los años han pasado a ser más baratas, fiables y de tamaño reducido.

De cualquier manera, es posible asegurar que la primera impresora 3D aparece en torno al año 1984, cuando una tecnología denominada “**stereolithography**” fue inventada por Charles Hull. Esta tecnología fue usada para crear un modelo 3D de una figura, y permitió a los usuarios realizar pruebas de diseño antes de investigar en un proceso de fabricación más realista. [2]

Después de esto, el siguiente hito en el desarrollo de la impresión 3D ocurre en 1987, con la invención del **Sinterizado Laser Selectivo**. Esta técnica fue desarrollada y comercializada en 1987 por DTM (ahora filial de B.F. Goodrich), y consistía en un proceso que fundía un polvo metálico mediante laser sobre el sustrato, para crear el objeto deseado. [3]

Entre 1988 y 1992 aparece la tecnología de “**Fused Deposition Modelling (FDM)**”. Esta tecnología utiliza unas boquillas o cabezales y una goma azul como método para crear los objetos tridimensionales. Fue creado por Scott Crump en 1988, el cual un año más tarde fundó *Stratasys*, para intentar convertir su diseño en algo comercialmente viable. De hecho su primera máquina de FDM salió al Mercado en 1992 [4].

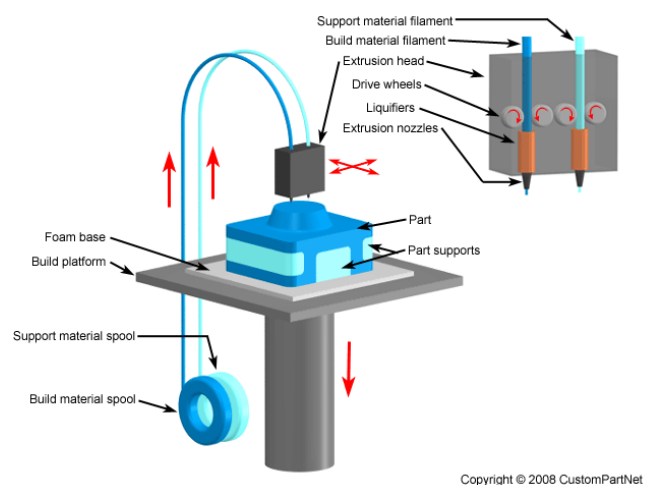


Fig. 2 FDM

1993-1996: En estos años se patenta la “Impresión Tridimensional” (*Three Dimensional Printing 3DP*). Dicha patente se desarrolló en el MIT y posteriormente fue otorgada a *Z Corp* (ahora parte de *3D Systems*), quien desarrolló la idea en su primera impresora Z402 en 1996. Básicamente se basaban en un método similar a una impresora de inyección de tinta estándar, pero siendo capaz de realizarlo en las tres coordenadas del espacio. [3]

Posteriormente, en 1996 empieza a establecerse el término Impresora 3D y la idea de **impresora auto-replicante** mediante el desarrollo del proyecto **RepRap** [5].

Cabe destacar que en esta memoria se hará especial mención al proyecto RepRap. Esto es debido a que sabiendo que actualmente hay diferentes páginas y comunidades de impresores, en un primer momento este proyecto fue el que realizó la gran labor de unificar a la comunidad de desarrolladores inicial. Además sentó las bases de las diferentes ideas de impresión 3D y estableció las diferentes metas. Es también importante mencionar de nuevo el uso de licencias *creative commons* y código abierto.

1.3 EL PROYECTO REPRAP

Las ideas básicas del proyecto RepRap están correctamente detalladas en el documento que los creadores, D. Holland, G. O'Donnell y G. Bennett publicaron: *Open Design and the Reprap Project*. [6], [7]

De cualquier forma, el mejor lugar para encontrar información es su propia web, basada en un sistema wiki, www.reprap.org. En esta web ellos definen RepRap como:

RepRap es la primera máquina humana y auto-replicante para fabricación de propósito general.

RepRap basa sus orígenes en una impresora gratuita, capaz de imprimir objetos plásticos. Debido a que muchas de las piezas de una RepRap están hechas de plástico, y la máquina puede a su vez imprimir esas piezas, se considera que es auto-replicante pues puede crearse a sí misma, crear un kit que cualquiera puede ensamblar con el debido tiempo y herramientas. Esto además significa que si una persona posee una RepRap, puede imprimir gran cantidad de objetos así como imprimir otra RepRap para un amigo.

RepRap trata de generar máquinas auto-replicantes, y haciendo estas gratuitamente para el beneficio de todos. Usamos la impresión 3D para llegar a este fin, pero si usted tiene otra tecnología capaz de crear copias de sí mismo y a su vez ponerlo gratuitamente a disposición de todos, esta comunidad es también la suya.



Fig. 3 Impresora autoreplicante

RepRap.org es un proyecto comunitario, lo que significa que cualquiera es bienvenido para editar y trabajar en las páginas del sitio, o incluso mejor, para añadir nuevas creaciones. La web incluye instrucciones e información sobre como involucrase plenamente con la comunidad.

RepRap fue la primera de las llamadas “impresoras 3D de bajo coste”, y todo el proyecto RepRap está basado en código abierto y licencias públicas.

Es importante también mencionar otras páginas relacionadas con la comunidad de impresores 3D como por ejemplo **Thingiverse**. [8] En esta página es posible encontrar un inmenso directorio de piezas 3D dispuestas para ser impresas con cualquier impresora 3D. Todas ellas son gratuitas y disponibles públicamente.

1.4 DESARROLLO DE LA IMPRESIÓN 3D

A día de hoy, un gran número de procesos aditivos y comunidades de impresores están disponibles para cualquiera, y debido a las ideas de código abierto y compartido ya mencionadas, dichas comunidades están en continuo desarrollo. A continuación se enumeran algunos de los ejemplos más relevantes de este tipo de comunidades:

- 3D printing Industry [9]
- 3D printer hub [10]
- Thingiverse [8]
- Fab@Home [11]
- Solidforum [12]

1.5 IMPRESIÓN 3D COMO NEGOCIO

Es importante realizar una diferenciación entre las típicas *“hobby printers”* y las *“impresoras industriales”*.

1.5.1 Impresoras Hobby:

Teniendo en consideración que casi toda la tecnología está basada en código abierto, sería fácil pensar que no existe un mercado activo asociado a estas impresoras 3D, pero la realidad es que sí existe dicho mercado y mueve una gran cantidad de dinero. Esto es debido a todas las marcas relacionadas con los diferentes componentes y consumibles que usan las mismas, desde las pequeñas ferreterías que suministran tuercas y tornillos hasta marcas que venden kits completos casi listos para el funcionamiento. Es posible encontrar un amplio catálogo de estos proveedores en internet y diversas fuentes. Algunos ejemplos a destacar son:

- **Impresoras RepRaps preensambladas:** 3D Industries Australia, 3dStuffmaker, ac123dc, BilbyCNC.com.au, BotMill, Mendbot Shop, Romsclaj, Skb-Kiparis Ltd, The Future Is 3D
- **Kits completos RepRap:** 3dStuffmaker, Create 3d, Reprap-Austria, ac123dc, BotMill, eMAKER Huxley
- **Otros kits:** A2APrinter, flemingcnc Isaac, German RepRap Foundation (GRRF)

1.5.2 Impresoras Industriales

Empezando desde las típicas impresoras 3D de tipo “*hobby*” que cualquiera puede construir, hasta diseños más avanzados, cabe destacar un importante mercado emergente.

Un buen ejemplo sería la “*Rapid Product Development Association of South Africa*”. Esta fue fundada en 1999 para representar a todos los impresores de la industria en Sudáfrica. De acuerdo con dicha asociación, desde los primeros diseños de impresoras 3D, vendidos en 1991, el mercado ha crecido a gran velocidad. En el gráfico a continuación se pueden ver estos datos más detallados, en concreto es apreciable que Stratasyss tiene la mayoría de las ventas en dicho país, seguido por 3D Systems. [14]

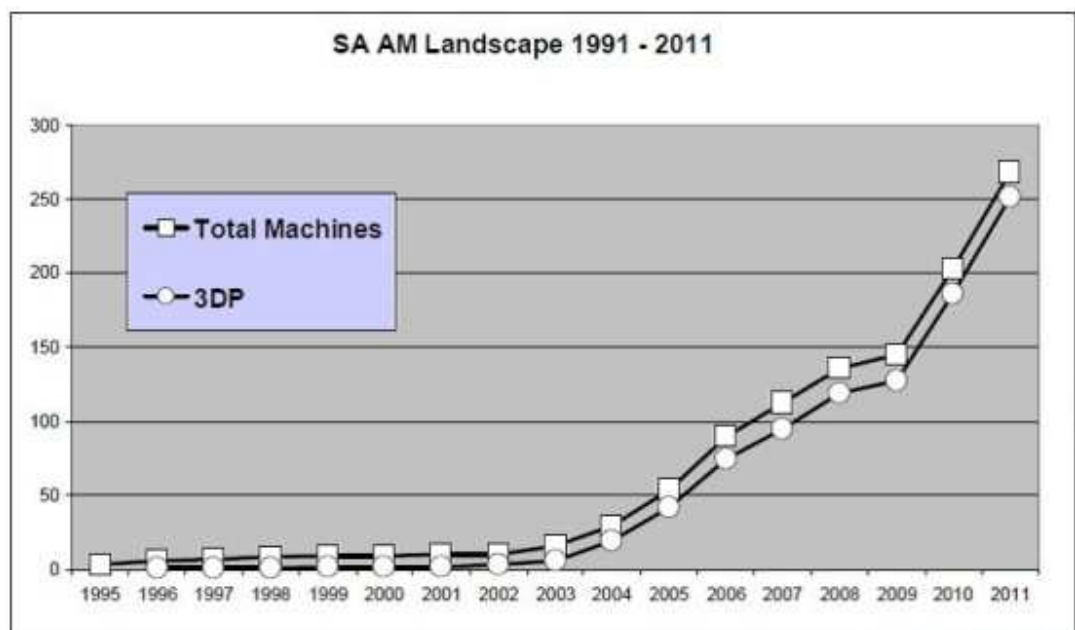


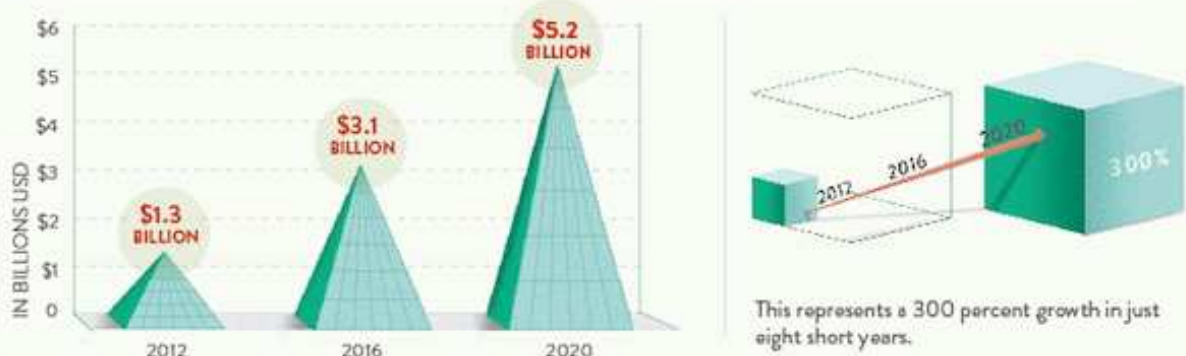
Fig. 4 AM Landscape

De cualquier forma, indagando un poco mas es fácil encontrar infinidad de artículos al respecto en revistas y periódicos, explicando todas las ventajas de éstas tecnologías así como sus posibles usos. Es importante mencionar que no hay que dejarse llevar por el entusiasmo de algunos blogs, que en ocasiones exageran las posibilidades o solo hablan sobre los usos más exóticos de dichas impresoras, normalmente para llamar la atención del lector. De cualquier manera, se puede concluir que el mercado está dando una buena respuesta a los productos y se espera que siga siendo así.

- **Forbes Magazine:** “3D Printing Industry Will Reach \$3.1 Billion Worldwide by 2016.” [15]
- **BBC News:** “3D printer could help millions walk, say researchers.” [16]
- **3Ders:** “Singapore to invest \$500 million in 3D printing” [17]

THE GROWTH OF THE 3D PRINTING INDUSTRY

The 3D printing industry is expected to change nearly every industry it touches, completely disrupting the traditional manufacturing process. As a result, the projected value of the industry is expected to explode in the near future, reaching:



Several 3D printing companies are already publicly traded. The current top stocks are:



3D PRINTING IN PRACTICAL USE

Even though this technology is still very young, it is already being employed in a number of practical ways.



MEDICAL

The medical industry can print human body parts, including a human lower jaw that was successfully implanted in a patient earlier this year.



ARCHITECTURE

Designers use 3D printing to create models of buildings and developments. Some architects also use pieces printed from 3D printers to build structures with.



DEFENSE

The Department of Defense uses 3D printing to create highly specialized aerospace pieces quickly and cheaply.



AUTOMOTIVE

Auto enthusiasts, including Jay Leno, have used 3D printers to create discontinued parts for classic cars.

Sources:

On3dprinting.com | Forbes.com

HighTable

Fig. 5 Infografía Mercado impresoras 3D [41]

1.6 VENTAJAS COMPETITIVAS

Durante el capítulo de antecedentes ya se han comentado algunas de las mejoras o posibles ventajas de la tecnología de impresión en 3D que han ido apareciendo, pero para sintetizar, las más relevantes se resumen a continuación.

1.6.1 Fabricación económicamente eficiente

Mediante una impresión 3D se necesitan menos recursos humanos participando en las diferentes etapas del producto. Por ejemplo, un único diseñador podría crear un modelo CAD de una pieza, y mediante dicho programa directamente imprimirla en su impresora 3D. Esta pieza puede ser manipulada por cualquiera, lo que le da al diseñador una importante información práctica y le permite redefinir los parámetros necesarios. [18]

1.6.2 Producción rápida

Basándose en los mismos principios que el anterior punto, con esta tecnología es posible construir, relativamente rápido, diferentes piezas. Esta puede ser una competencia realmente interesante por ejemplo para una empresa que fabrique pequeñas series de piezas pero de gran variedad, o para empresas de producción bajo demanda. [19]

1.6.3 Ahorro de material

Comparando con una fabricación tradicional basada en un mecanizado común, la cantidad de material desechado es mucho menor mediante esta tecnología. Obviamente esto tiene una influencia en el coste final de la pieza producida.

1.6.4 Alta calidad y nuevos perfiles

Mediante la impresión 3D es posible lograr una buena calidad superficial; dependiendo siempre de la calidad de la impresora y de los materiales utilizados. Además, cabe destacar que esta tecnología permite producir piezas con ciertos perfiles que serían imposibles o muy costosas mediante procesos tradicionales.



Fig. 6 Ejemplo de pieza de formas complejas

1.6.5 Económica

Como se ha mencionado anteriormente, este proyecto está basado en el estudio de las impresoras de tipo *hobby*. Dichas impresoras son baratas y enfocadas a reducir al máximo los costes. Incluso las impresoras de tipo industrial empiezan a tener un precio muy asequible para cualquier empresa considerando las posibilidades que son capaces de dar. [20]

1.7 DESVENTAJAS DE LA IMPRESION 3D

Al igual que con las ventajas, es importante mencionar también las limitaciones que esta tecnología posee. Muchas de estas desventajas serán tratadas con más detalle en capítulos posteriores, especialmente haciendo hincapié en como solventarlas.

1.7.1 Material

Al margen de los avances más recientes o el uso de tecnologías aditivas de tipo láser, las impresoras *hobby* se ven limitadas respecto al tipo de material que son capaces de utilizar. Dichas impresoras únicamente pueden funcionar con algunos tipos de polímeros. Es cierto que dichos polímeros tienen unas propiedades mecánicas y térmicas bastante razonables, pero aun así pueden ser insuficientes para algunos usos.



Fig. 7 Rollos de ABS

1.7.2 Estructura

Es posible afirmar que estas impresoras pueden producir piezas de formas realmente interesantes e innovadoras, además con una precisión muy razonable, pero esto solo se consigue teniendo ciertas consideraciones. En ocasiones la pieza a imprimir debe incluir algunas estructuras de soporte o añadidos capaces de evitar colapsos.



Fig. 8 Estructura de soporte

1.7.3 Tamaño del producto impreso

Las impresoras 3D incluyen ciertas limitaciones respecto al tamaño máximo de la pieza a fabricar. Normalmente esto es debido a las estructuras y carriles requeridos para la máquina, así como en muchos casos limitado por el tamaño de la superficie caliente sobre la que se realiza la impresión. Un tamaño normal de pieza es en torno a 200x200x200 mm. Por supuesto hay excepciones, como algunas impresoras creadas para piezas de gran formato, pero éstas no son habituales.

1.7.4 Productividad

Esta podría ser una de las razones principales que han llevado a la realización de este proyecto. Se ha mencionado el hecho de que se puede considerar a estas impresoras como de “producción rápida”, pero es importante ser consciente de que este valor es solo en términos generales. La impresión 3D puede hacer que todo un proceso de fabricación completo sea más breve, pero el tiempo de impresión en si mismo suele ser alto, siendo de varias horas en piezas grandes y complejas.

¿No sería magnífico poder reducir estos tiempos? ¿Qué ocurriría si pudiéramos obtener dos, cuatro o incluso diez veces el número de piezas en el mismo tiempo? Esto implicaría una **clara mejora de la productividad y una importante reducción de costes.**

PARTE II: LA IMPRESORA 3D: DISEÑO GENERAL

Capítulo 2. Objetivos del proyecto

Tal y como se ha mencionado en la introducción, el objetivo de este proyecto es diseñar una impresora 3D que sea capaz de realizar múltiples copias simultáneamente, pero una vez más, ¿Por qué sería esto interesante?

En el ultimo capitulo se han descrito ciertos aspectos sobre la productividad de las impresoras 3D. **Aumentar esa productividad es el auténtico objetivo.** Puede haber diferentes maneras de llegar a ese resultado, pero en este caso la seleccionada ha sido el aumentar el número de piezas producidas en cada serie de impresión, o en otras palabras, imprimir cuatro copias del mismo objeto en el tiempo en el que normalmente se obtendría solo uno. Para lograr esto se ha decidido utilizar una solución sencilla: diseñar una impresora que tenga cuatro boquillas, lo cual resulta en cuatro objetos.

Pero, ¿cómo lograr esto?

Capítulo 3. Partes principales, problemas de diseño y posibles mejoras

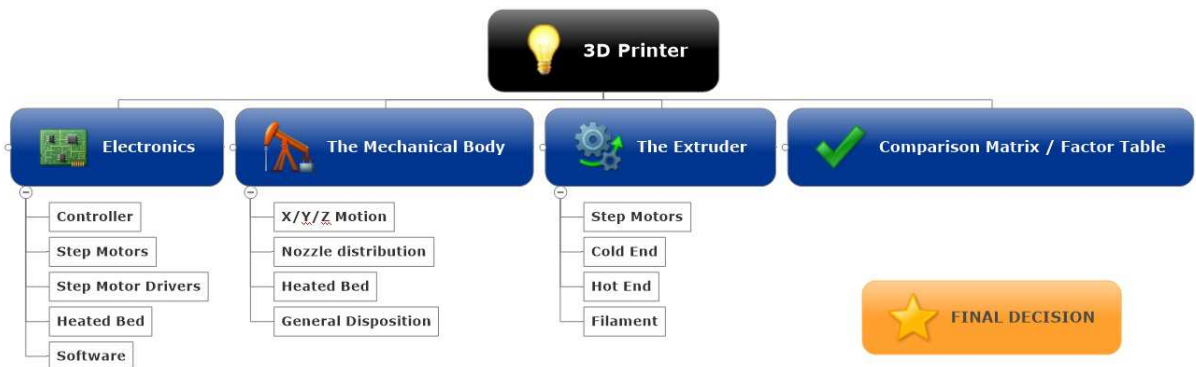


Fig. 9 Esquema de componentes de una impresora 3D

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE UNA IMPRESORA 3D

En las siguientes páginas se pueden encontrar descripciones sobre las posibles piezas o componentes principales que podrían diferenciar a una impresora 3D.

Además, tras la debida descripción detallada de cada parte, o incluso durante la misma, se discernirá sobre algunos aspectos, con el objetivo de contrastar diferentes ideas hasta alcanzar un diseño óptimo pero de carácter general.

Aparte de ello, en las próximas páginas también aparecerán algunas ideas para resolver los diferentes problemas encontrados. Se definirán desde nuevas aplicaciones hasta combinaciones de ideas previas enfocadas de una manera diferente. De cualquier forma, ambos métodos finalmente proporcionarán una buena muestra de posibles diseños, por lo que con el fin de llegar a una conclusión lo más clara posible, estas diferentes opciones serán clasificadas, cuando sea posible, mediante tablas o cuadros. Además, aplicando diferentes métodos de comparación como por ejemplo el cálculo mediante factores, algunas ideas serán descartadas y otras serán consideradas como de más valor.

Posteriormente, tras estas comparaciones y descripciones por etapas, en el Capítulo 5, los dos diseños considerados como los más interesantes serán presentados para una última decisión.

3.2 EXTRUSOR

El extrusor es una de las partes más importantes de la impresora. La función principal de esta pieza es conseguir guiar correctamente la fibra de filamento desde el “inicio frío” hasta el “final de fundido”, en la boquilla. Además, un buen extrusor debe ser capaz de dosificar con suficiente precisión el filamento. La velocidad del extrusor es también un factor relevante.

Se define como “inicio frío” a la parte inicial del cabezal, donde la temperatura es menor que la de fusión de la fibra. Sirve como guía de deslizamiento del filamento y debe asegurar que el plástico llega recto y continuamente al “final de fundido”.

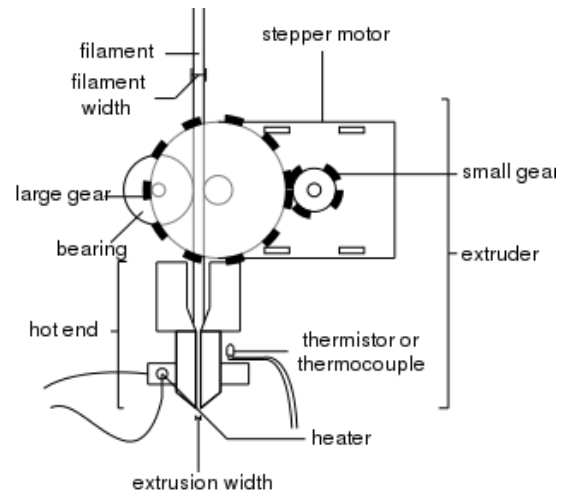


Fig. 10 Extrusor dentado

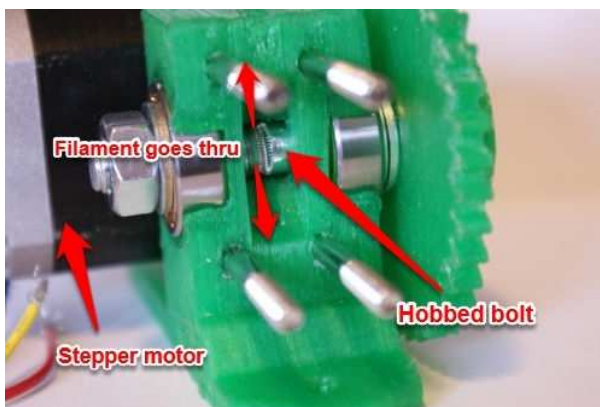


Fig. 11 Sistema de extrusión

Por otro lado, el “final de fundido” es donde ocurre la fusión. Este punto va a ser explicado con más detalle en la parte técnica de diseño, pero para sintetizar, se puede describir como una boquilla de latón que es calentada mediante unos resistores. Este calor calienta el plástico de manera que este funde y se produce la deposición del ABS sobre el sustrato.

El extrusor básicamente funciona mediante un tornillo que es taladrado tangencialmente (generando una hendidura) y que gira sobre su eje. Esta hendidura se sitúa enfrentada a la cara tangencial de un rodamiento capaz de girar, dejando únicamente un pequeño hueco para el paso de la fibra. Mediante este sistema y el giro del tornillo la fibra es empujada a través de este hueco.

Cabe destacar que el extrusor debe ser capaz de proporcionar la fuerza necesaria para extrudir la fibra a través de la boquilla, la que siempre tiene una sección menor (normalmente alrededor de 0.4 y 0.5 mm para filamentos de alrededor de 1,75 y 3 mm). Además, esta extrusión se debe realizar a la velocidad adecuada. [21], [22]

3.2.1 Problemas típicos en extrusores

Los problemas principales se pueden resumir en:

- Peso.
- Control y cableado.
- Precio: motor.
- Vibraciones.
- Deslizamientos en el filamento.

Además, mencionar que como una pieza más que es, cada extrusor significa más objetos, más peso y la necesidad de un motor que a su vez requiere ser cableado. Teniendo en cuenta el lema “lo simple es lo mejor”, aparece la idea de intentar reducir al máximo las piezas, con el fin de reducir estos costes. [22]

3.2.2 Posibles mejoras en extrusores

Desde el momento en que las características de la impresora a diseñar requieren el uso de cuatro filamentos pasando a través de cuatro boquillas, es necesario definir cómo conseguirlo de la mejor manera posible.

Los casos podrían ser divididos en tres:

- a) Un extrusor remoto:** Mediante un único extrusor, que consiga de alguna manera impulsar cuatro filamentos
- b) Cuatro extrusores remotos:** En este caso cada extrusor se encarga únicamente de un filamento. Es el diseño más común en las impresoras 3D simples.

- c) **Cuatro extrusores no remotos:** ubicados sobre la boquilla. Este diseño es muy parecido al anterior, pero en este caso cada extrusor se encuentra directamente ubicado sobre la boquilla adecuada

Mediante el uso de un extrusor remoto se puede concluir que hay una reducción en el número de piezas que deben estar en constante movimiento, lo que se traduce en no tener que mover una cierta masa. Además con menos extrusores, menos piezas son requeridas en total, lo que también implica una reducción de coste. [23]

Por otro lado, el uso de extrusores remotos puede implicar algunas complicaciones como falta de agarre, enredamientos o dobleces en la fibra. Por ejemplo, los diseñadores del extrusor “Bowden” hablan de un importante efecto de histéresis. Cada extrusor hace sufrir a la fibra un efecto de compresión, el cual si ésta es demasiado larga se puede multiplicar. Ellos propusieron como solución a este problema el uso de “encoders” en cada filamento, pero por supuesto esto implica un cierto coste así como la necesidad de cablear dicho control. [23]

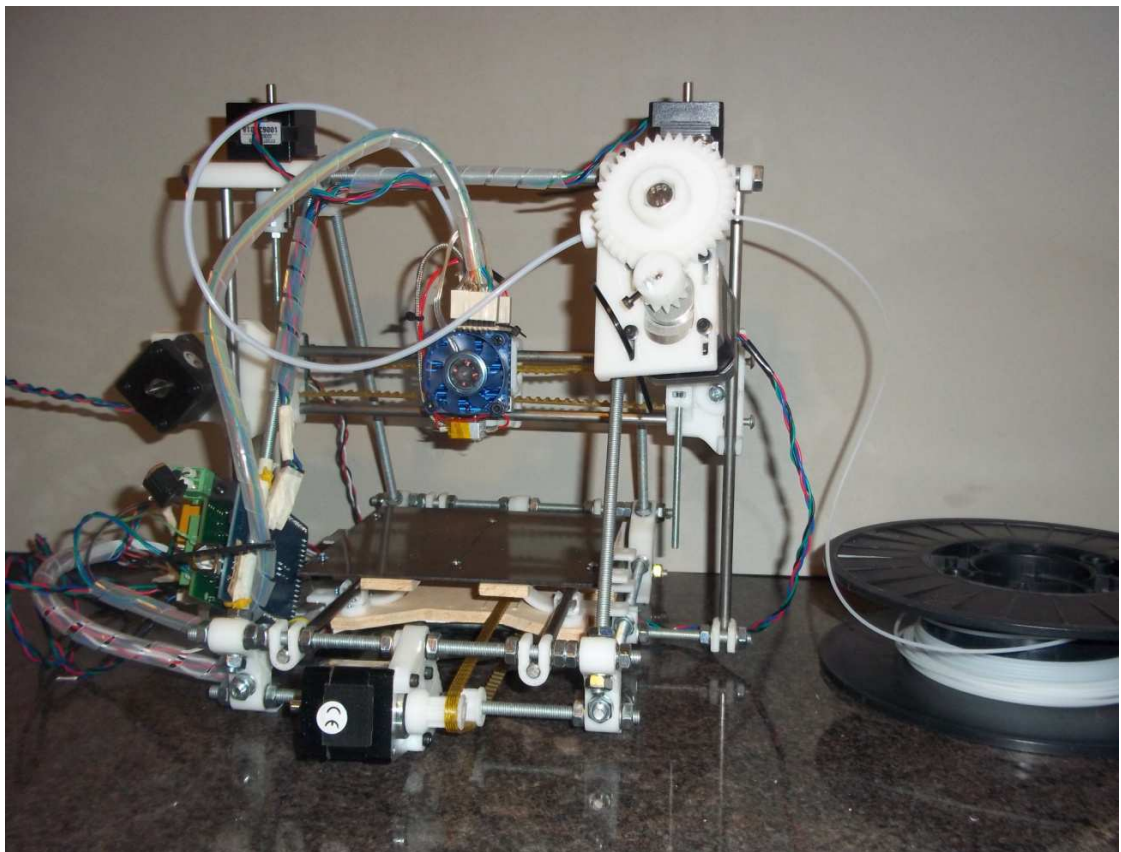


Fig. 12 Extrusor de Ed Bowden

En un diseño en el que el sustrato o “cama térmica” se está moviendo en un eje y el cabezal se mueve en los otros dos, el peso de dicho cabezal sí tiene influencia; pero cuando el cabezal está completamente fijo y es el sustrato el que realiza todos los movimientos cabe destacar que la masa del cabezal ya no es relevante. En este segundo

diseño solo se debe considerar la diferencia de precio de cada pieza, pero no los gastos en la energía para mover esa masa. De cualquier forma, este aspecto del diseño será tratado nuevamente en el epígrafe dedicado al sustrato o “cama térmica”.

Otro aspecto a considerar durante el diseño del extrusor es el camino que va a seguir la fibra. Esta debe ser correctamente guiada mediante un sistema de puntos fijos y tubos que eviten posibles enredos entre las diferentes fibras o con las partes mecánicas de la impresora. [24], [23]


3.2.3 Comparativa entre las diferentes opciones

Siguiendo a lo descrito en los puntos anteriores, se podría concluir que lo mejor para llegar al mejor diseño es estudiar las partes necesarias de un extrusor y considerar cuánto dinero costarían y cuanta energía se consumiría en su funcionamiento. Para definir mejor esto, en el siguiente punto se puede observar una clasificación de las diferentes partes principales de un extrusor típico.

3.2.4 Componentes impresos

La ventaja principal de estos componentes ya ha sido mencionada, pero de cualquier forma, y basándose en la idea de “auto-replicante” la intención es utilizar el mayor número de piezas que puedan ser a su vez provenientes de otra impresora 3D. En este caso se considera como precio de la pieza únicamente el coste en material ABS.

Para estimar ese precio, se ha utilizado el modelo en SolidWorks creado de la impresora, y utilizando una densidad del ABS en torno a $1,02 \text{ g/cm}^3$ y considerando un precio en torno a $30\$/\text{Kg}$ (Ver tabla de materiales, elemento 67).

Cantidad	Descripción	Precio (\$)	Masa (g)	Esquema
1	Bloque de extrusión Fig. 13 Bloque de estrusor Wade	1.31	43.7	

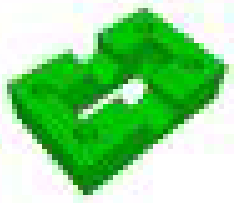
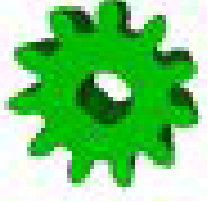
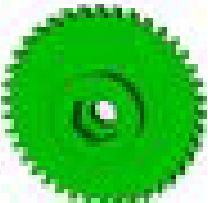
1	Alojamiento para el bloque Fig. 14 Bloque de alojamiento Wade	0.16	5.25	
1	Rueda conductora de 11 dientes Fig. 15 Rueda Wade 1	0.03	0.9	
1	Rueda conducida M8 de 39 dientes Fig. 16 Rueda Wade 2	0.39	13	
Total		1.89 \$	62.85 g	

Table. 1 Extrusor dentado. Componentes impresos [25]

3.2.5 Componentes no impresos

Este grupo incluye tuercas, rodamientos y algunos elementos estructurales como los carriles. La mayoría son piezas que se producen masivamente por lo que los precios suelen ser bajos. Además, destacar que algunos de estos componentes ofrecen ciertas ventajas competitivas o propiedades que el ABS no puede alcanzar.

Cantidad	Descripción	Tipo	Precio (\$USD)	Peso (g)	Peso total (g)
Alimentador					
2	Rodamientos 608 (monopatín)	Rodamientos	2.72	27.2	54.4
1	M8×50 perno	Pernos	0.4	24.9	24.9
1	M8 tuerca	Pernos	0.1	3.2	3.2
4-5	M8 arandelas	Pernos	0.1	2.54	12.7
Tornillo impulsor					
1	Rodamientos 608 (monopatín)	Rodamientos	1.36	27.2	27.2
1	M8×20	Tornillo perfilado	0.4	13.4	13.4
4	M4×60 or M4×45 pernos de cabeza hexagonal	Pernos	1	4.7	18.8
4	M4 tuercas	Pernos	1	0.57	2.28
8	M4 arandelas	Pernos	1	0.45	3.6
16	M4 arandelas	Pernos	0.5	0.45	7.2

Montaje					
	M3×10 tornillos	Pernos	0.5	1	3
3	M3 arandelas	Pernos	0.5	0.4	1.2
1	M3 prisionero	Pernos	0.5	1	1
1	M3 tuerca	Pernos	0.1	0.3	0.3
2	M4×20 tornillos	Pernos	0.2	2.7	5.4
2	M4 tuercas	Pernos	0.2	1	2
2	M4 arandelas	Pernos	0.2	0.45	0.9
Total					181.48 g

Table. 2 Extrusor dentado. Componentes no impresos [25]

3.2.6 Componentes del motor y controlador

El motor es quizá el componente principal del extrusor. Éste motor debe ser capaz de proporcionar el par necesario para mover la rueda dentada que a su vez gira el tornillo perfilado. Existe un gran catalogo de motores aptos para esta función. En la tabla a continuación se presentan los ejemplos más habituales. [26] [27] [28]

Unidad		Coste por unidad (USD \$)	Coste por 4 unidades (USD \$)	Peso por unidad (g)	Peso para cuatro unidades(g)
Motor de pasos	Pololu 1 Kg-cm		52		560
	Pololu Hybrid 3.17 Kg-cm	20		350	
Unidad de control del motor A4988		10	40	10	40
Total		30	92	360	600

Table. 3 Comparaciones de motores de pasos

Como se puede ver, la tabla esta diferenciada entre el uso de una y cuatro unidades. La diferencia reside en que en el caso de usar solo un único motor, este tiene que ser el más potente, Poulu Hybrid 3.17, para garantizar la extrusión de los cuatro filamentos. En el caso de usar cuatro motores diferentes si es suficiente con utilizar unos menos potentes

3.2.7 Tornillo perfilado

El tornillo perfilado consiste en un tornillo estándar que ha sido modificado para adaptarse adecuadamente a la forma del filamento y de esta manera hacer que el mismo sea impulsado. Esta adaptación normalmente es simplemente un taladrado tangencial al tornillo. [25]



Fig. 17 Tornillo perfilado

Además, otra ventaja de este tipo de diseño es que la rosca remanente en el tornillo ayuda al empuje de la fibra sin que esta deslice o haya problemas de falta de fricción.

3.2.8 Comparación final sobre extrusores

	PESO (g)	PRECIO(\$USD)
UN ÚNICO EXTRUSOR	594	42
CUATRO EXTRUSORES	1577	142

Table. 4 Comparación de extrusores

Tras las diferentes consideraciones previas, aquí se presenta una tabla comparativa sobre el uso de uno o cuatro extrusores. Destacar que mediante el uso de un único extrusor se ahorran 100 USD \$ y además no hay necesidad de ensamblar la misma pieza cuatro veces. Adicionalmente, mediante este único extrusor solo es necesario mover 594 gramos en lugar de 1577 cuando el cabezal imprime.

3.3 MOVIMIENTO LINEAL EN COORDENADAS X E Y

Tras conocer el funcionamiento básico de una impresora 3D es una consecuencia directa la necesidad de estudiar las diferentes configuraciones cinemáticas. Básicamente, para contextualizar, destacar que en este ámbito existen dos soluciones diferenciadas: movimiento lineal basado en un carril perfilado o movimiento mediante barras y rodamientos.

3.3.1 Basado en dos barras lisas y rodamientos

Este es quizá el diseño más barato y el más fiel a la filosofía *reprap* de reducción de coste y uso de piezas imprimibles. Destacar que siempre son necesarias el uso de dos barras paralelas ya que si solo se usara una, el motor podría girar sobre sí mismo y convertir el sistema en inestable.

3.3.2 Basado en un carril perfilado

Este tipo de diseño normalmente es el usado en impresoras más profesionales. Es posible utilizar desde servos y deslizaderas premontadas a adquirir únicamente los carriles; pero por otro lado este sistema es más caro. Destacar, eso sí, la gran variedad de marcas que venden este tipo de sistemas cinemáticos.

3.3.3 Robot delta

Más bien a modo testimonial, se presenta aquí un sistema menos habitual pero con algunas ventajas relevantes. La diferencia principal de este diseño es que no está basado puramente en el movimiento en coordenadas ortogonales X-Y, sino que de hecho se basa en un movimiento mediante brazos y coordenadas en paralelogramos [29]. Es una tecnología muy interesante y aún en desarrollo, pero su ventaja principal es la eficiencia en los movimientos. Por otro lado supone algunas dificultades adicionales en la calibración y en la programación de los movimientos. [30] [31]

3.3.4 Tabla de comparación de sistemas cinemáticos




Modelo	Ventajas	Inconvenientes	Peso	Coste	Imagen
Barras lisas y rodamientos	Barato Simple Relativamente fácil de montar Uso de piezas imprimibles	Require más espacio	Ligero	Barato	 <p>Fig. 18 Barras y cojinetes</p>
Rail perfilado	Mayor precisión Menor fricción Mejores propiedades estructurales	Complejo de fabricar de manera autónoma Más caro	Pesado	Caro	 <p>Fig. 19 Railes perfilados</p>
Delta robot	Rápido Cinemática diferente Movimientos muy efectivos	Más complejo de calibrar, diseñar y programar No válido para piezas demasiado grandes	Medio	El más caro	 <p>Fig. 20 Robot delta</p>

Table. 5 Comparacion de sistemas cinemáticos

3.4 BOQUILLA

Como boquilla se denomina el componente que tiene las siguientes funciones:

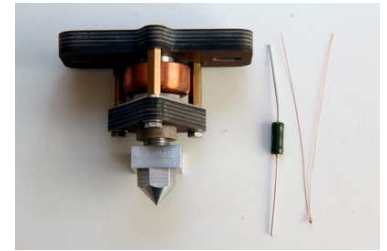


Fig. 21 Boquilla

3.4.1 Calentar y fundir la fibra de ABS

Existen diferentes diseños capaces de conseguir esto, pero en general consiste en un resistor (o varios) conectados a un bloque de un material de alta conductividad. Después, otra pieza con forma cónica adosada a ese bloque.

3.4.2 Guiar y concentrar la impresión

Como se ha mencionado, la boquilla incluye una pieza de forma cónica, diseñada para concentrar adecuadamente la fibra sobre un punto muy pequeño, lo cual define la precisión de la impresora. Normalmente el diámetro de la boquilla oscila entre los 0.5 y los 2 milímetros, dependiendo de la fibra que se utilice.

Aparte de todo lo anterior, una boquilla tiene otros requerimientos, como son la instalación de un control adecuado, mediante termistores². Además de eso las resistencias deben ser correctamente cableadas y toda la boquilla fijada mediante una estructura firme que evite en la mayor medida posible las vibraciones [32].

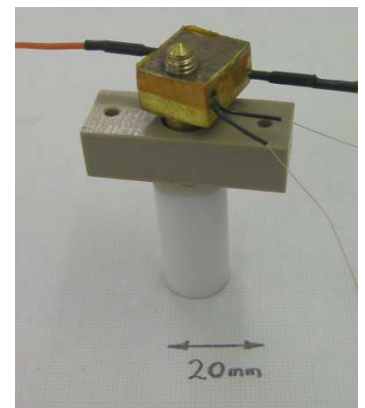


Fig. 22 Bloque de boquilla

Otro tema relevante es el aislamiento térmico. Estas boquillas, normalmente hechas de latón tienen las ventajas mencionadas, pero en ocasiones su buena conductividad térmica puede convertirse en un inconveniente: cuando las resistencias calientan la boquilla, éste calor tiende a subir mediante conducción, alcanzando algunas partes de la fijación que podrían estar hechas de plástico, por lo que pueden llegar a fundir o a deformarse. Además, este calor en las partes superiores de la boquilla hace que la fibra funda antes de tiempo llegando a taponarse todo el cabezal. En algunas ocasiones ciertos diseñadores han optado por el uso de ventiladores o materiales aislantes para resolver estos problemas.

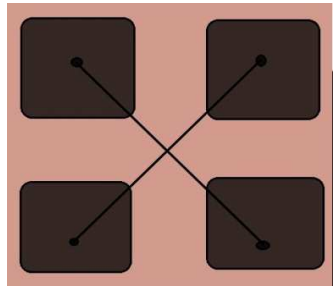
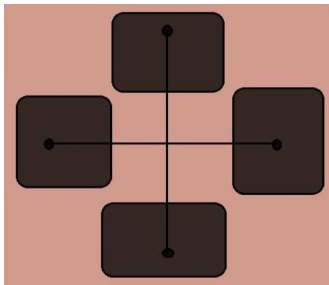
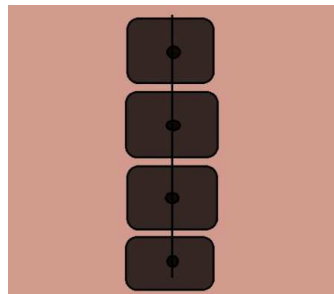


Fig. 23 Tipos de boquilla

² Un termistor es un tipo de resistor cuya resistencia varía significativamente con las variaciones de temperatura del mismo.

De cualquier forma, en el ámbito de las boquillas existen diferentes mejoras posibles, pero ninguna relacionada directamente con un aumento de la productividad de la impresora, por lo que no van a ser tratadas en más detalle a lo largo de este proyecto.

Por último, en la siguiente tabla aparece una comparativa sobre cómo distribuir en el espacio las diferentes boquillas de la manera más eficiente. En los croquis, el color rosa representa el sustrato o cama y en negro el volumen de los cabezales y su área de trabajo. [25]

Nombre	Ventajas	Inconvenientes	Croquis (vista en plano)
Cruzado en X	<ul style="list-style-type: none"> -El perfil tubular actúa como guía -Mayor eficiencia de espacio -Distribución de masas equilibrada 		 <p>Fig. 24 X-crossed nozzles</p>
Cruzado en +	<ul style="list-style-type: none"> -El perfil tubular actúa como guía 	<ul style="list-style-type: none"> -Menor eficiencia en el uso del espacio 	 <p>Fig. 25 Cross crossed nozzles</p>
Linear en eje Y	<ul style="list-style-type: none"> -Posibilidad de ensamblaje modular -Útil para impresoras estrechas 	<ul style="list-style-type: none"> -Flexión y vibraciones -Fuerzas desequilibradas 	 <p>Fig. 26 Linear Y nozzles</p>

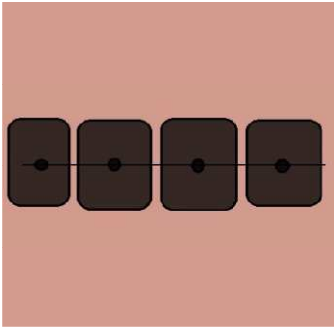

Linear en eje X	-Mejor diseño para evitar problemas estructurales -Permite el uso de cuatro motores diferentes para alimentar el plástico	-Menor eficiencia en el uso del espacio -Resulta una impresora muy ancha	 <p>Fig. 27 Linear X nozzles</p>
Cartesio	-Mejores propiedades estructurales	Diseño complejo y caro	 <p>Fig. 28 Impresora Cartesio</p>

Table. 6 Distribución de boquillas

3.5 SUBSTRATO O CAMA TÉRMICA

Hablar de impresión siempre va de la mano de hablar de substratos. En la impresión 3D no existe substrato como tal, únicamente existe una lámina o superficie donde el material extruido es depositado.

La función principal de la cama térmica es acoger la impresión y a su vez prevenir que la pieza se deforme. Básicamente, cuando el plástico extruido se enfría, aparecen ciertas tensiones y se comprime ligeramente. Esto no es un problema si bajo la nueva capa existe una capa anterior que aun esta enfriándose, pero cuando este fenómeno ocurre en los límites o esquinas, la pieza se deforma debido a una difusión demasiado diferenciada. Mediante el uso de una lámina caliente se soluciona este fenómeno, permitiendo además extraer muy fácilmente la pieza tras la impresión. [33], [34]

De cualquier forma, es importante realizar una serie de comprobaciones y valorar las diferentes propiedades antes de elegir el mejor método para esta cama térmica:

- Rigidez de la cama.
- Adherencia de la cama.
- Planicidad.

- Amortiguación de las vibraciones.
- Tamaño de la cama térmica.
- Cinemática de la cama térmica.

La mayoría de estas propiedades son estudiadas con detalle en la versión extendida de esta memoria y omitidas en este resumen. No así la configuración del movimiento de la cama térmica, que tiene especial relevancia:

3.5.1 Movimiento de la cama

La impresión puede ser realizada de diferentes modos [37]:

- Moviendo solo la cama
- Moviendo solo el cabezal
- Combinación de ambos métodos

Aparentemente el mejor sistema sería uno que únicamente moviera el cabezal, dado que la cama, al ser más pesada implica un mayor consumo de energía. Pero llevado a la práctica este diseño tiene una importante limitación: durante el movimiento en el que un eje esta deslizando, el motor del eje opuesto debe estar libre para poder a su vez transmitir un movimiento simultaneo en la otra coordenada, tal y como se muestra en la siguiente figura.

Consecuencia de estos requerimientos es un diseño más complejo, pesado y difícil de ensamblar aunque a su vez mas estable estructuralmente.

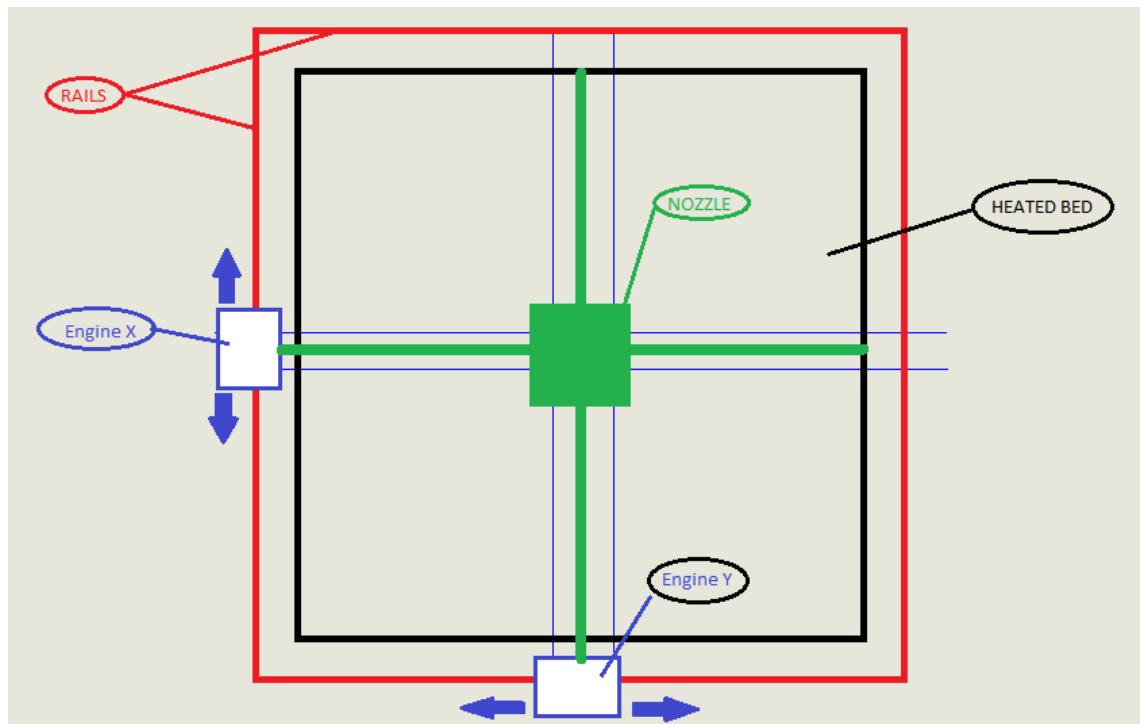


Fig. 29 Movimiento relativo cama-cabezal

Debido a todo lo anterior, el diseño utilizado por la mayoría de los impresores consiste en una mezcla de ambos tipos de movimientos: mediante un motor desplazar en la coordenada X el cabezal y mediante otro desplazar en la coordenada Y la cama. En ese caso ambos motores pueden ser independientes.

Una nueva discusión comienza respecto al movimiento en el eje Z. Nuevamente se podría elegir entre mover el cabezal o el movimiento de la cama térmica.

Capítulo 4. Comparativa de diferentes diseños

4.1 TABLAS DE COMPARACIÓN

Durante este capítulo se presentan una serie de tablas que contraponen las diferentes opciones de diseño analizadas en esta primera etapa del proyecto, intentando contrastar las ventajas e inconvenientes para alcanzar el diseño óptimo.

REQUERIMIENTO	POSIBLE SOLUCIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Extrusión de 4 filamentos	4 extrusores remotos	Menos masa movida	Diseñar como asegurar la alimentación y evitar la histéresis
	Extrusores sobre el cabezal	Basado en el diseño típico	Más caro, pesado y más piezas requeridas
Fusión de 4 filamentos	Boquilla PTFE	Fiable y barata	Ensamblaje
Movimiento en las coordenadas X e Y	Guías de acero templado y cojinetes	Barato y posible de conseguir mediante partes simples	Fricción, inestabilidad, ensamblaje y poca precisión
	Raíl perfilado	Precisión, fácil de ensamblar, mejores propiedades estructurales y menor fricción	Precio
Movimiento en la coordenada Z	Sistema de poleas	Basado en el extrusores Wade, barato y ligero	Poca precisión, riesgo de rotura, necesidad de calibración, histéresis en el cable
	Tornillo sin fin (1 motor)	Barato, preciso, fácil de cablear y movimiento solo cuando es requerido	Necesidad de útil mecánico para el movimiento simétrico
	Tornillo sin fin (2 motores)	Peso balanceado, precisión y movimiento solo cuando es requerido	Necesidad de calibración de los motores
Cama térmica	Cuatro camas conectadas	Fácil de ensamblar, buen aislamiento	Pesado, necesidad de calibración
Almacenamiento de ABS	Rollo remoto y guía de nylon	Simple	-
Cableado de los motores	Aislantes plásticos	Barato	Requerimientos de espacio y buen diseño
Estabilidad estructural	Tubos y cojinetes	Barato	Frágil
	Raíles perfilados	Variedad de opciones, fiable	Caro

Table. 7 Requerimientos y soluciones

Diseño	Factor						Valor total (menos es mejor)
	Precio	Energía	Ensamblaje	Disponibilidad	Precisión	Otras consideraciones	
	Coeficiente						
	1	1	0,8	1	1	0,8	
	Valor otorgado multiplicado por el coeficiente						
Un extrusor remoto	1	1	1	1	1,5	1	5,1
Dos extrusores remotos	2	2	1,5	1,3	1	0,8	6,14
Cuatro extrusores remotos	3	2,5	2,5	3	1,5	1,5	10,2
Cuatro extrusores sobre el cabezal	2,5	3	3	3	1,2	0,8	10,24
Sistema de poleas	1	1	0,8	2	1,5	1	5,94
Guiado mediante tornillo	1	1	1	1	1	0	3,8
Tornillos y cojinetes	1	1	2	1,5	1	0	5,1
Raíl perfilado	2	1,5	1	1,1	1	0	4,4
Cama termina artesanal	2	1,5	3	2	1,5	0	7,4
Cama térmica premontada	3	1	1	1,5	1	0	4,3
Lámina de aluminio	1	2	2,5	2	2	0	8
Diseño modular	1	1	3	3	2	1	9,2
Robot Delta	3	1	3	3	1	0	7,4

Table. 8 Comparativa de diseños mediante factores

4.2 CONCLUSIONES PRINCIPALES DE LA COMPARATIVA

- Un extrusor remoto es la forma más ligera y barata de alimentar el filamento, pero tiene ciertas complicaciones de diseño que deben ser correctamente solventadas.
- Mover únicamente el cabezal podría ser una decisión óptima en cuanto a términos energéticos, pero en la práctica no es siempre el método utilizado debido a su complejo diseño.
- El uso de dos motores diferentes en cada lado parece ser la mejor opción para el movimiento en la coordenada Z
- La posición del cabezal debe ser correctamente elegida y equilibrada
- Las camas térmicas premontadas son más fáciles de montar en diseños más complejos

Cabe destacar que en estas primeras conclusiones de las diferentes disyuntivas de diseño no aparece siempre destacada la que finalmente se va a desarrollar. En otras palabras, estos puntos previos solo definen algunas ideas generales, pero posteriormente algunas decisiones pueden ser tomadas aunque en apariencia resulten contradictorias a estas sentencias.

PARTE III: NUEVOS DISEÑOS

Capítulo 5. Concretando el diseño definitivo

Tras contextualizar las tecnologías más actuales en impresión 3D, mencionar los problemas típicos y sus posibles soluciones así como los criterios para obtener los mejores resultados, en esta capítulo empieza la parte de diseño más real, donde nuevas ideas aparecen y deben ser estudiadas para llevarlas a la práctica.

Mediante las tablas de comparación utilizadas ha sido posible derivar en una serie de condiciones que pueden ser buenos criterios para un diseño óptimo, pero la realidad es que las diferentes relaciones existentes entre cada componente convierten la decisión del diseño óptimo en algo más complicado de lo esperado, y siempre difícil de clasificar por lo que en muchos casos la decisión final es el sentido común.

En las siguientes páginas los considerados como los dos diseños más interesantes son presentados, comparando las diferentes ventajas e inconvenientes de cada uno.

5.1 PROPUESTA DE DISEÑO 1

Consistente en dos extrusores independientes, con dos boquillas por cada extrusor. Mediante el emplazamiento de un cabezal encima del otro, aparece una estructura de diseño modular. Además se propone el uso de un sistema de poleas para el movimiento en la coordenada Z.

¿Por qué este diseño?

Los dos extrusores independientes dan al sistema la ventaja de poder imprimir dos sets de piezas independientes (o por ejemplo cuatro piezas pero en dos colores). Esto otorga una mayor flexibilidad, pero por otro lado tiene el inconveniente de que un mínimo de dos sets de control para el motor son necesarios.

Dado que este diseño se basa en la ventaja competitiva de imprimir dos sets de piezas independientes, podría ser aun una mayor ventaja si mediante la mencionada construcción modular se pudieran añadir bloques para aumentar el número de sets consecutivamente. Debido a que una de las limitaciones de la impresora a diseñar es que la misma debe ser transportable a través de una puerta normal (en torno a 800mm de ancho) siendo como mucho parcialmente desmontada, el diseño no puede desarrollarse modularmente en anchura, pero si podría hacerlo en altura. Surge entonces la idea de unos módulos apilables verticalmente, fáciles de ensamblar y que cada uno permita obtener dos piezas más.

Esta idea de diseño modular y fácilmente ensamblable aparece en otros muchos campos tecnológicos y siempre ha sido un buen sistema para mejorar la productividad y la eficiencia, pero por otro lado este tipo de sistemas requiere un diseño avanzado, que estudie como realizar fácilmente esos acoplamientos.

Respecto al sistema de poleas, es posible encontrar algunos ejemplos de impresoras basadas en él en diferentes foros. Es una tecnología muy interesante en la que continuar investigando, especialmente porque permite realizar el movimiento en la coordenada Z elevando una masa considerable con una relativamente baja cantidad de energía.

Por otro lado, para este diseño basado en la modularidad, podría ser una gran idea el uso de raíles estandarizados y perfilados. La industria que fabrica estos raíles ha tenido unas buenas cuotas de mercado precisamente porque es un sistema relativamente barato pero de alta utilidad ya que el raíl tiene un doble uso: servir como guía para los desplazamientos y a su vez como estructura base de la máquina. Además su relativa estandarización permite el uso de diferentes componentes y accesorios de gran utilidad y a un precio asequible.

Diseño 1	Flexibilidad
Nuevo concepto	Ventaja adicional
Dos extrusores independientes	Diferentes sets de piezas
Construcción modular	Flexibilidad, facilidad de uso y buen almacenaje
Formato apilable	Eficiencia en el uso de espacios
Complejo sistema de conexiones	Fácil ensamblaje
Sistema de poleas	Ligero y flexible en alcance de altura
Raíl perfilado	Mejores propiedades estructurales y facilidad de montaje

Table. 9 Diseño 1

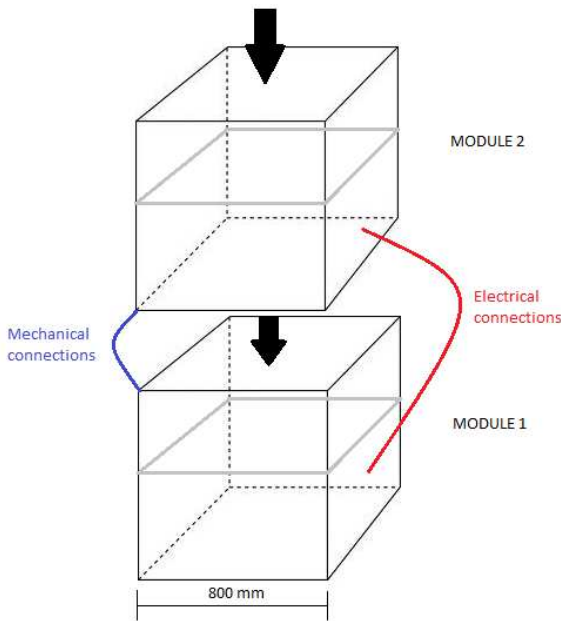


Fig. 30 Montaje modular

Para resumir, combinando la idea de múltiples impresoras conectadas en serie mediante este diseño modular apilable, es posible obtener una torre de impresoras, capaces de fabricar una gran cantidad de piezas en un espacio reducido.

Por último, se concluye que este diseño no va a ser desarrollado mas allá de este punto, tal y como se argumentará en el epígrafe 5.3, pero algunas de las ideas, criterios y conclusiones si van a ser utilizadas para el desarrollo del diseño final.

5.2 PROPUESTA DE DISEÑO 2

Basado en un montaje similar a la impresora “*printrbot*”, y comenzando con la idea de “lo simple es lo mejor” pero clarificando que en ocasiones es importante asegurar algunas propiedades importantes mediante piezas de alta calidad y fiabilidad, a continuación se presentan algunos de los puntos base del diseño que finalmente va a ser estudiado en este proyecto.

Su ventaja técnica principal será el hecho de que en este caso **sólo el cabezal es la pieza que está en movimiento**, mientras que la cama térmica permanece estática. Mediante esto, habrá un ahorro de energía en dicho movimiento (importante ya que tal y como se ha mostrado la cama es una de las piezas más pesadas) pero por otro lado será necesario diseñar un sistema de raíles y carros adecuado. Es por ello y por los requerimientos estructurales por lo que se decide utilizar raíles perfilados.

Además, otro importante requisito de este diseño va a ser un **buen acabado visual** así como una **zona de trabajo de aspecto limpio y accesible**, sin marcos que dificulten la manipulación de la pieza [38].

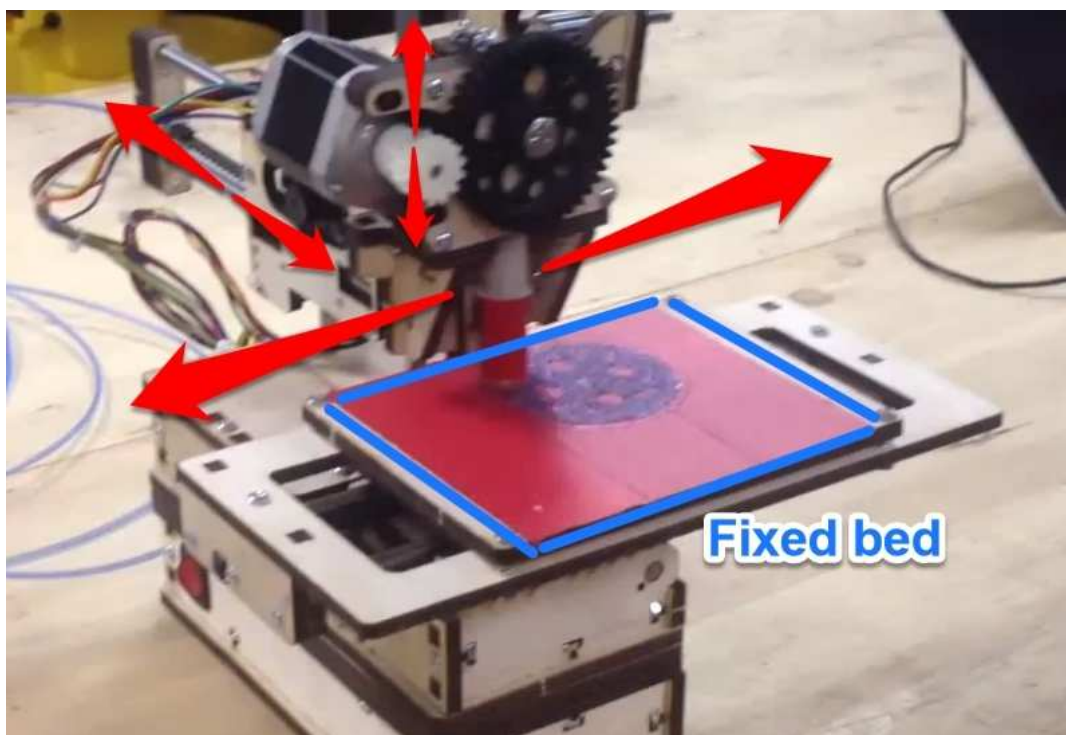


Fig. 31 Impresora printrbot

Al margen de las consideraciones anteriores, será necesario realizar el diseño de un cabezal y unas boquillas en las que las mismas estén correctamente distribuidas. Valorando el espacio disponible, parece la decisión más lógica el utilizar una distribución lineal de las mismas a lo largo de la coordenada X, tal y como se muestra en el siguiente croquis:

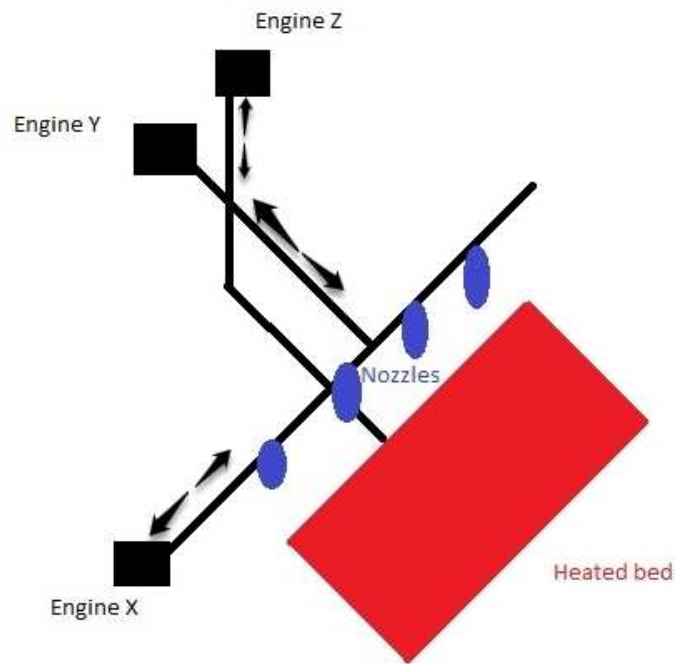


Fig. 32 Croquis de distribución de las boquillas

Por tanto, los conceptos principales de este diseño se pueden resumir como:

Diseño 2	Fiable y área de trabajo accesible
Nuevo concepto	Ventaja adicional
Basado en el diseño del robot printrbot	Area de trabajo accessible. Buena eficiencia especial y seguridad en el manejo
Fiabilidad	Fiabilidad
Boquillas distribuidas en X	Cabezal equilibrado y proporcionado
Un único extrusor	Ahorro
Uso de raíles perfilados para X-Y-Z	Fiabilidad y firmeza estructural
Un único cabezal móvil	Ahorro energético
Cama estática	La pieza no se deforma durante la impresión debido a vibraciones de la cama
Transmisión mediante tornillo sin fin en la coordenada Z	Movimiento preciso y solo cuando es requerido

Table. 10 Diseño 2

5.3 DECISION FINAL

Tras la propuesta de los dos diseños más interesantes, se ha decidido centrar el proyecto únicamente en el **“Diseño 2”**. Esta decisión se ha tomado para llegar a lograr los mejores resultados y poder realizar un estudio profundo de dicho diseño ya que no es posible abarcar todas las opciones. De cualquier forma, el concepto principal de este primer diseño descartado, que es la modularidad es una idea realmente poderosa y que se recomienda para futuros estudios.

PARTE IV: DISEÑO CAD

Capítulo 6. Visión general del proceso de diseño

Tras la parte más conceptual del diseño, comienza aquí un estudio más detallado, con disyuntivas más concretas. Durante las próximas páginas se va a llevar a cabo un diseño completo mediante el uso de *SolidWorks*³.

Como en muchos procesos de diseño, algunos inconvenientes van a presentarse, y sus posibles soluciones serán en ocasiones tomadas gracias a procesos iterativos y de prueba y error. Con la idea de intentar describir estos procesos de la manera más clara posible, el diseño de la impresora va a ser dividido en diferentes hitos consistentes en las partes principales de la impresora. Además, algunos de los requerimientos base de la impresora serán nuevamente concretados y redefinidos.

Destacar también que debido a que para cada problema pueden aparecer diversas posibles soluciones, para resumir, al finalizar el epígrafe perteneciente a cada parte de la impresora, se presentara un cuadro que sintetizará las decisiones tomadas al respecto. En algunas ocasiones estas decisiones finales pueden venir acompañadas de algunos cálculos en los casos en que sean necesarios.

Debido a que este proyecto puede ser leído de diferentes formas, desde un lector que lo lee de la página inicial a la final, hasta otro lector que solo quiere consultar algunos epígrafes para comprobar ciertos aspectos del diseño. Es por ello, que para ayudar a contextualizar a los lectores del primer tipo, a continuación se presenta una imagen del resultado de la primera etapa del diseño CAD, la cual permita desarrollar mejor el imaginario de la máquina y entender correctamente el diseño, su funcionamiento y las diferentes decisiones tomadas. De cualquier forma esta imagen no debe ser considerada como un resultado final, ya que el mismo se presenta en la última parte de la memoria.

³ *SolidWorks es un programa de diseño 3D mecánico (CAD, Computer aided design) el cual se ejecuta bajo el sistema operativo de Microsoft Windows y ha sido diseñado por Dassault Systemes Solidworks Corp., filial de Dassault Systemes. SolidWorks tiene actualmente una comunidad de alrededor de 2 millones de usuarios a lo largo de más de 165.000 compañías en todo el mundo. En el año 2011 los ingresos de SolidWorks fueron de más de 483 millones de dólares.*

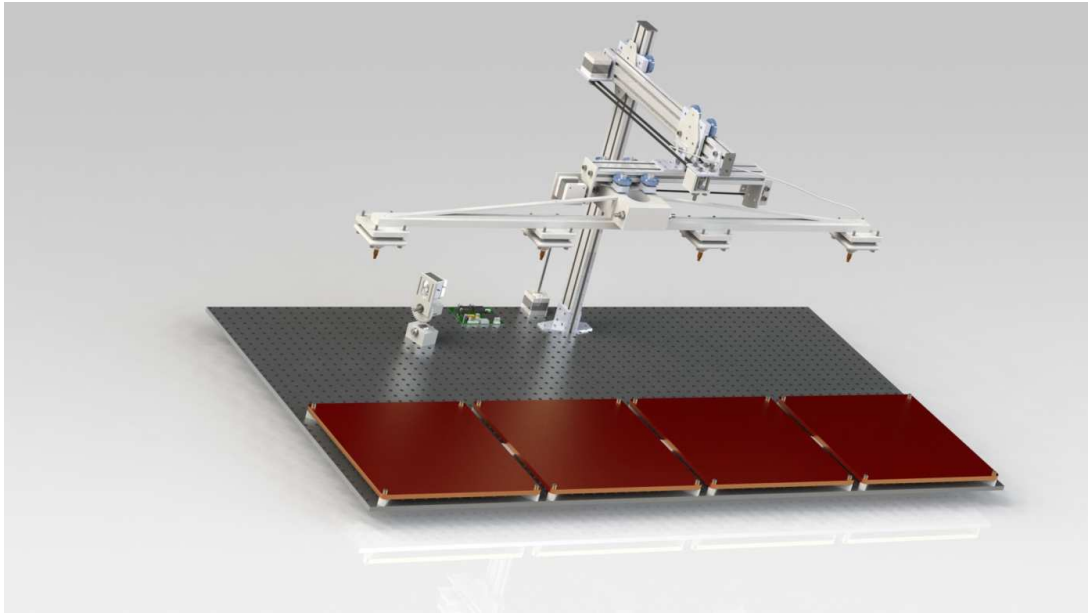


Fig. 33 Diseño completo en fase alfa

6.1 LIMITACIONES DIMENSIONALES

Una de las limitaciones en las que es posible optimizar el diseño es en el tamaño de toda la máquina. Durante todo el proceso de diseño esto ha sido un punto clave en la toma de decisiones. Además, estas dimensiones máximas han sido la referencia a la hora de idear el resto de los componentes. Bajo la limitación infligida por las dimensiones máximas de la cama térmica así como sus otros inconvenientes (ver punto 3.5.5), ninguna pieza impresa puede sobrepasar dicho límite.

Además, una de las definiciones iniciales de la impresora es que la misma debe ser capaz de ser transportada a través de una puerta estándar de 800x200 mm sin tener que ser desmontada más allá de algunos componentes.

Respecto a las piezas resultantes, esta impresora será capaz de crear objetos con un tamaño de hasta 290x290x500 mm. En el ámbito de las impresoras 3D de ABS esto podría ser considerado como una de las de mayor formato.

Capítulo 7. Extrusor y rollos de filamento

El extrusor que esta impresora va a utilizar es una mezcla entre el diseño que realizó *Ed Bowden* y el diseño de *Wade*. En otras palabras, consistirá en el típico extrusor de *Wade*, pero que consigue guiar la fibra a la boquilla de manera remota mediante el uso de un cable Bowden (nylon).

7.1 MOTOR

El primer componente a mencionar en un extrusor es obviamente el motor que lo mueve. Dicho motor debe ser capaz de desplazar los cuatro filamentos. El motor más utilizado suele ser un Nema 17 (ver lista de materiales, objeto 6). Dicho motor tiene las siguientes especificaciones:

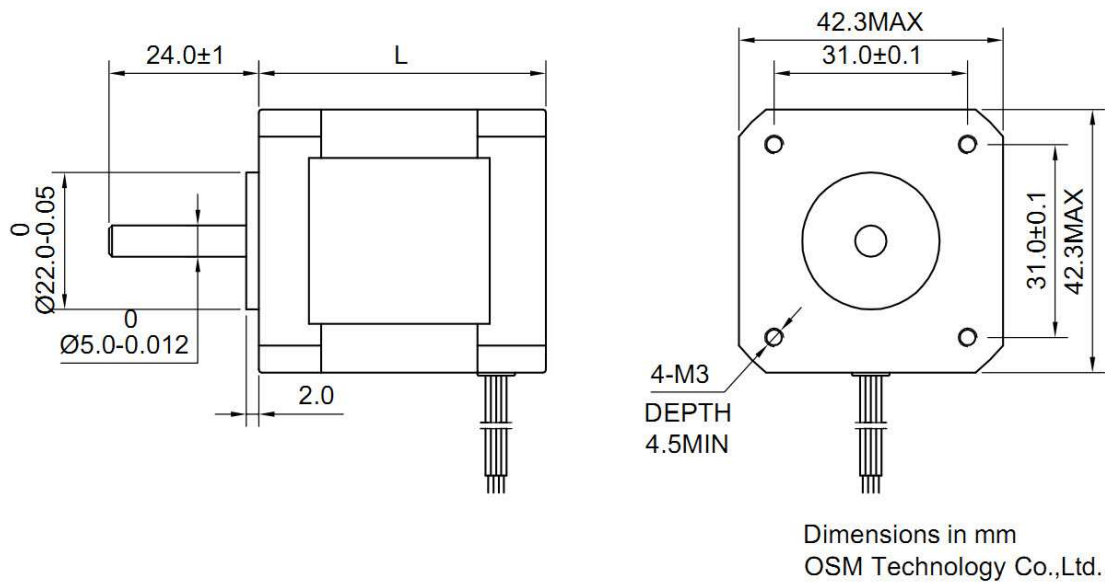


Fig. 34 Nema 17

Propiedad	Unidad	FL42STH47-1684A (4-wire)	FL42STH47-1206A (used in 4-wire mode)
Voltaje medio	V	2.8	
Corriente/Fase	A	1.68	
Resistencia/Fase	Ω	1.65	
Inductancia/Fase	mH	2.8	
Par	Kg-cm	4.4	
Inercia del rotor	g-cm ²	68	
Peso	kg	0.35	
Par resistente	g-cm	200	
Tamaño	mm	48	

Table. 11 Especificaciones Nema 17

Propiedad	Especificación
Ángulo de paso	1.8 grados
Precisión de ángulo de paso	±5% (por paso, sin carga)
Precisión de resistencia	±10%
Precisión de inductancia	±20%
Incremento de temperatura	80.C Max
Temperatura ambiente	-20.C~+50.C
Resistencia aislante	100MΩMin. ,500VDC
Fuerza dieléctrica	500VAC para un minuto
Velocidad máxima	300 rpm

Table. 12 Especificaciones Nema 17-2

7.2 RUEDAS DENTADAS

Estas ruedas están también basadas en las estándar del extrusor *Wade*. El principio operativo del extrusor, motor y ruedas dentadas mediante tornillo perfilado ya ha sido explicado, por lo que aquí solo se comentan algunos detalles. Como se ha dicho el sistema de ruedas dentadas se utiliza para conseguir una relación de transmisión adecuada y un movimiento preciso. Estas ruedas pueden ser fácilmente obtenidas mediante otra impresora 3D, resultando:



Fig. 35 Rueda dentada pequeña

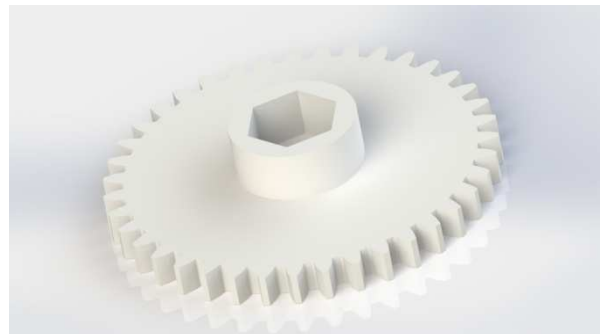


Fig. 36 Rueda dentada grande

7.3 CÁLCULOS DE PAR

Al margen de las propiedades anteriormente descritas, aquí aparece una cuestión relevante: ¿será el par que otorga el motor o la relación de transmisión suficiente para mover correctamente los filamentos? (Cálculos resumidos)

Es posible realizar una comprobación de dicha relación de transmisión:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{11}{39} = 0.28205$$

Donde Z_1 y Z_2 son el número de dientes de cada rueda.

$$1.8 * 0.28205 = 0.50769 \frac{\text{grados}}{\text{paso}}$$

$$2\pi r = 2\pi * 4.875 = 30.631 \frac{\text{mm}}{\text{giro}}$$

$$\frac{30.631}{360} * 0.50769 = 0.0432 \frac{\text{mm}}{\text{paso}}$$

$$dVol_1 = Adl = \pi r^2 dl$$

$$dVol_{Total} = 4\pi r^2 dl$$

$$Vol_{Total} = 4\pi * 0.875^2 * 0.0432 = 0.4156 \text{ mm}^3/\text{paso}$$

$$\rho = 1020 \text{ kg/m}^3$$

$$Mass = \frac{1020}{1000000000} * 0.4156 = 4.239 * 10^{-7} \text{ kg/paso} = 4.239 * 10^{-4} \text{ g/paso}$$

7.4 VELOCIDAD LIMITE DE EXTRUSIÓN

Otra restricción importante para la velocidad de impresión global, al margen de las ya mencionadas como las masas y la precisión es la cantidad de filamento que el extrusor es capaz de desplazar a través del perfil de la boquilla. Asumiendo un diámetro de boquilla de 0,5 mm y con los datos previos: (cálculos resumidos):

$$Vol_{Total} = 0.4156 \text{ mm}^3/\text{paso}$$

$$\frac{0.4156}{4 * \pi * 0.25^2} = 0.529 \text{ mm/paso}$$

$$\frac{300 * 360}{60} = 1800 \frac{\text{degrees}}{\text{s}} = \frac{1000 \text{ pasos}}{\text{s}}$$

$$1000 * 0.28205 = 282.05 \frac{\text{paso}}{\text{s}}$$

Velocidad máxima de extrusión por cada boquilla:

$$0.529 * 282.05 = 149.25 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

7.5 RESUMEN DE DISEÑO DEL EXTRUSOR

A continuación se presenta una pequeña tabla resumen para sintetizar el diseño final del extrusor y sus conclusiones:




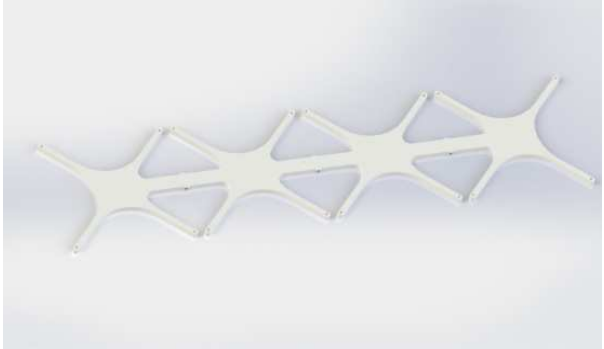
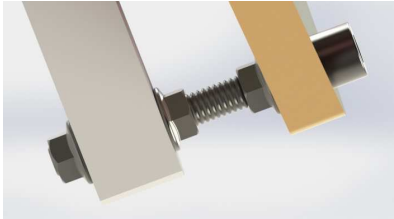
Requisito	Solución	Modelo
Estabilidad estructural	Buen diseño	
Motor y anclajes	Pernos	
Alimentación de cuatro fibras	Tornillo perfilado	
Suficiente par y precisión	Ruedas dentadas y relación de transmisión	

Fig. 37 Extrusor diseñado

Table. 13 Tabla resumen del extrusor

Capítulo 8. Cama térmica

8.1 RESUMEN DE DISEÑO DE LA CAMA TÉRMICA

Requisito	Solución	Modelo
Estructura ligera y estable	Diseño simple y plano	 <p>Fig. 38 Cama térmica simple</p>
Estructura suficientemente grande (4 camas)	Juntas entre cada bloque de sujeción de la cama. Diseño modular	 <p>Fig. 39 Conexión entre bloques de camas</p>
Conexión entre las camas	Cuatro pernos M6 en cada esquina	 <p>Fig. 40 Bloque sujeción camas</p>
Calibración de altura	Diseño correcto de arandelas y tuercas dobles para los tornillos de las esquinas	 <p>Fig. 41 Tornillos reguladores de altura</p>
Eficiencia térmica y aislamiento		

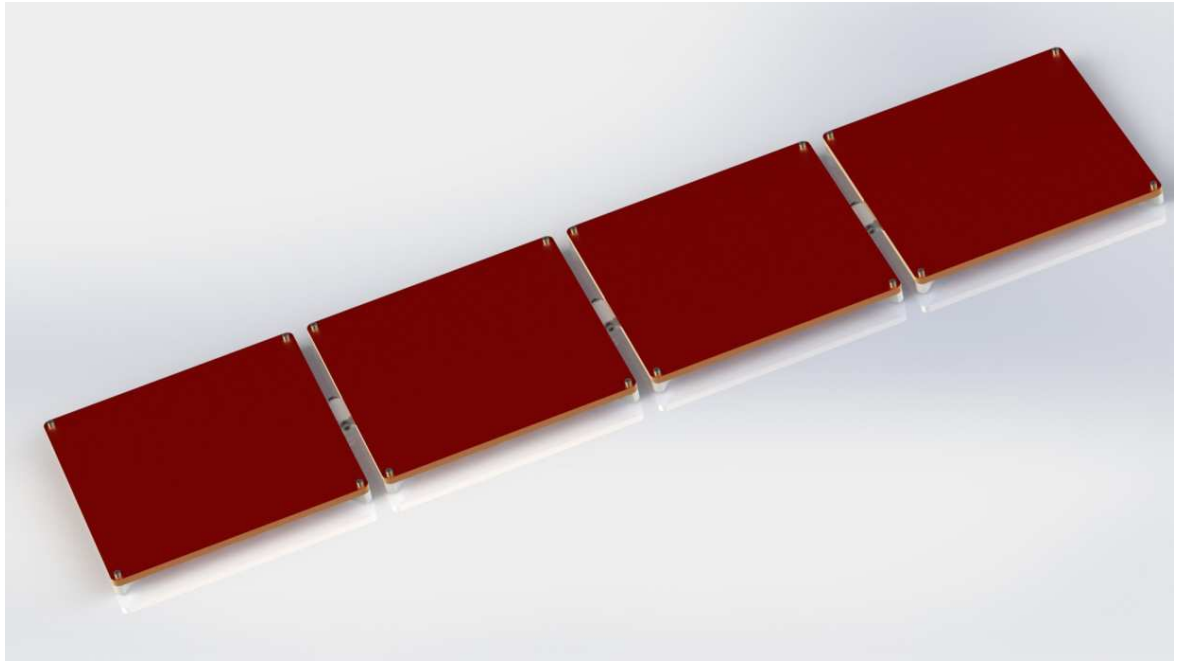


Fig. 42 Diseño Final de la cama térmica

Table. 14 Resumen de diseño de la cama térmica

Capítulo 9. Cabezal y bloque de sujeción de las boquillas

9.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El cabezal es una de las piezas más importantes de este proyecto, ya que su diferenciación con el resto de modelos habituales es lo que marca la mayor ventaja competitiva de esta impresora, permitiendo ubicar cuatro bloques de boquilla en una única pieza.

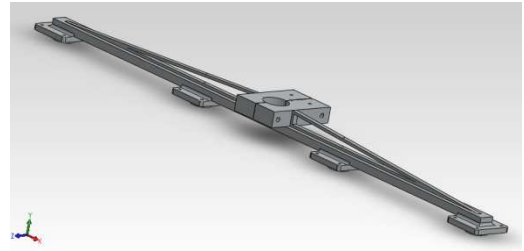


Fig. 43 Modelo de cabezal

Además, dicho cabezal también es una pieza relevante debido a que marcará la precisión con la que la impresora trabaja. Se deberá llegar a una solución de compromiso entre un material barato pero suficientemente rígido, que permita alcanzar el tamaño deseado pero sin grandes vibraciones.

9.2 TEST MECÁNICO

Al margen de algunas consideraciones previas que se han omitido en este resumen a continuación sigue una versión sintetizada del análisis mecánico realizado sobre la pieza en cuestión. Cabe mencionar que dichos análisis se detallan en profundidad en el anexo de estudios mecánicos, todos ellos realizados gracias al modelo 3D y al añadido de elementos finitos de SolidWorks.

A modo de ejemplo se definen con algo más de detalle los pasos necesarios para realizar el estudio mecánico de este caso, por ser el primero. Por razones de brevedad dichos pasos se omitirán en la memoria en posteriores estudios.

9.2.1 Selección de la pieza a estudiar

En primer lugar, y tras modelar la pieza a estudiar, hay que definir correctamente que partes se quieren estudiar. Además hay que indicar el tipo de material y sus propiedades asociadas.

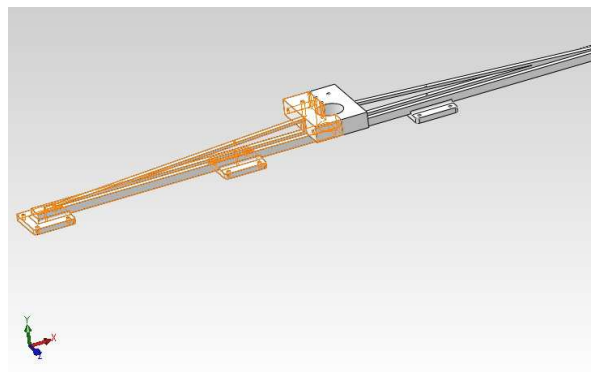


Fig. 44 Selección de la pieza de estudio

9.2.2 Restricciones de movimiento

En este paso hay que introducir las fijaciones a las que el material está sometido. En este caso las diferentes paredes y taladros, así como la cara necesaria para la simetría.

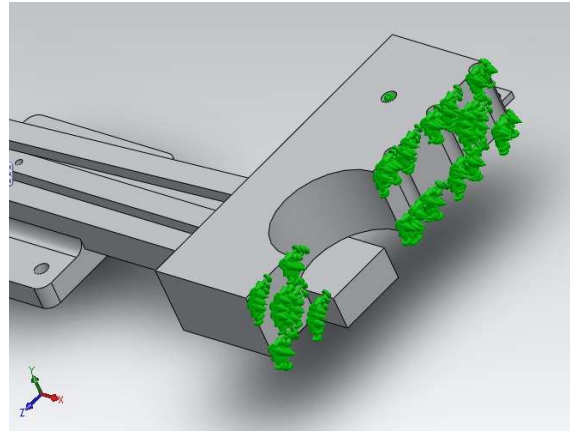


Fig. 45 Restricciones de movimiento

9.2.3 Fuerzas externas

A partir de la masa calculada (dato del modelo mediante SolidWorks) y del valor de la gravedad, se calculan las fuerzas estáticas. No se consideran otras fuerzas de tipo dinámico ya que tras contrastar algunos datos se ha comprobado que estas no tienen la suficiente relevancia. Únicamente se aplicará un cierto factor de corrección en los casos en los que fuera necesario,

$$\frac{100}{1000} * 9.8 = 0.98 \text{ N}$$

Por lo que se supondrá un valor de aproximadamente 1N por cada bloque de sujeción de la boquilla.

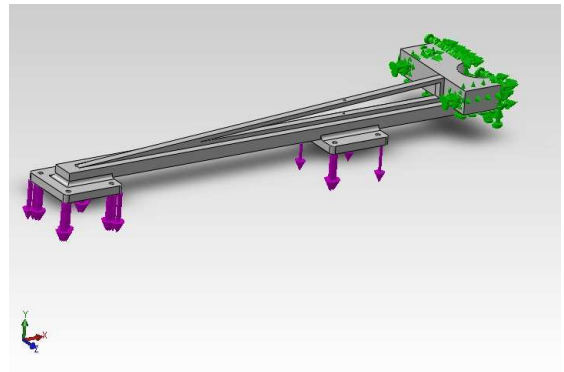


Fig. 46 Resumen de fuerzas

Destacar, que a la hora de la valoración de los resultados, el máximo permisible de deformación será de **0.05 mm** en la coordenada vertical. Este valor se ha estimado tras contrastar diferentes ejemplos usados por otros impresores así como por otras experiencias previas. Valores de vibraciones mayores que el mencionado resultan en una pieza de baja calidad o deformada.

9.2.4 Resultados de la simulación

En este punto se presentan resumidamente los resultados de las tensiones Von Mises y las deformaciones que sufre la pieza.

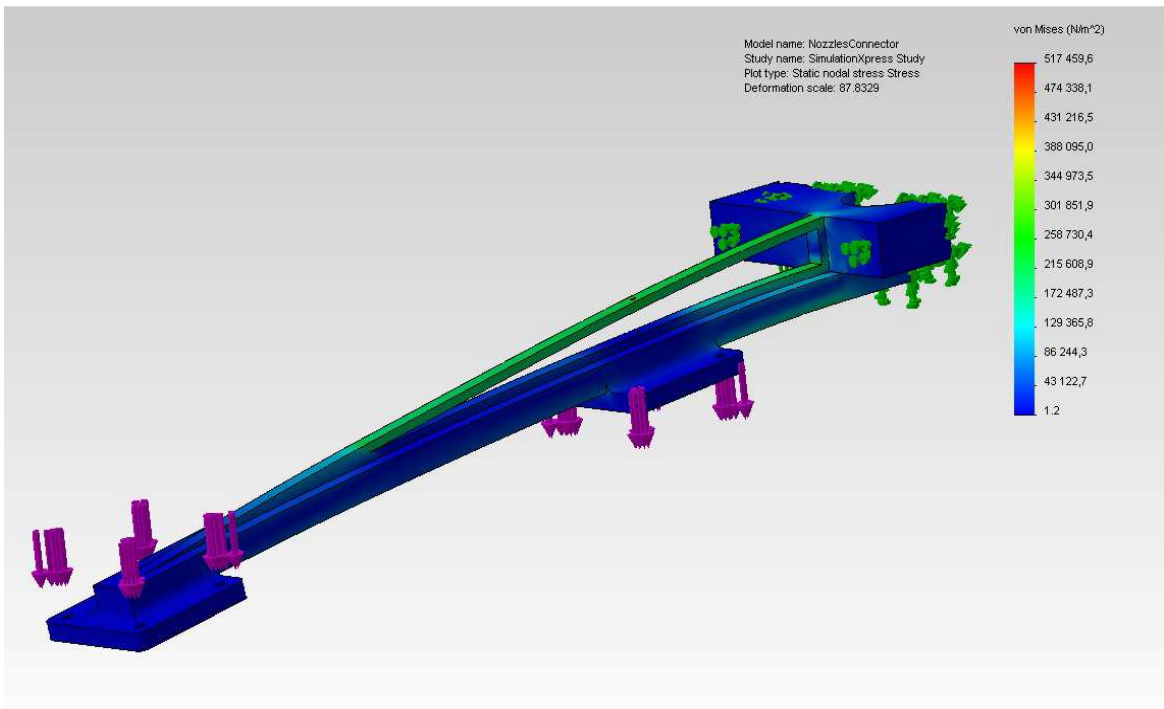


Fig. 47 Von-Mises

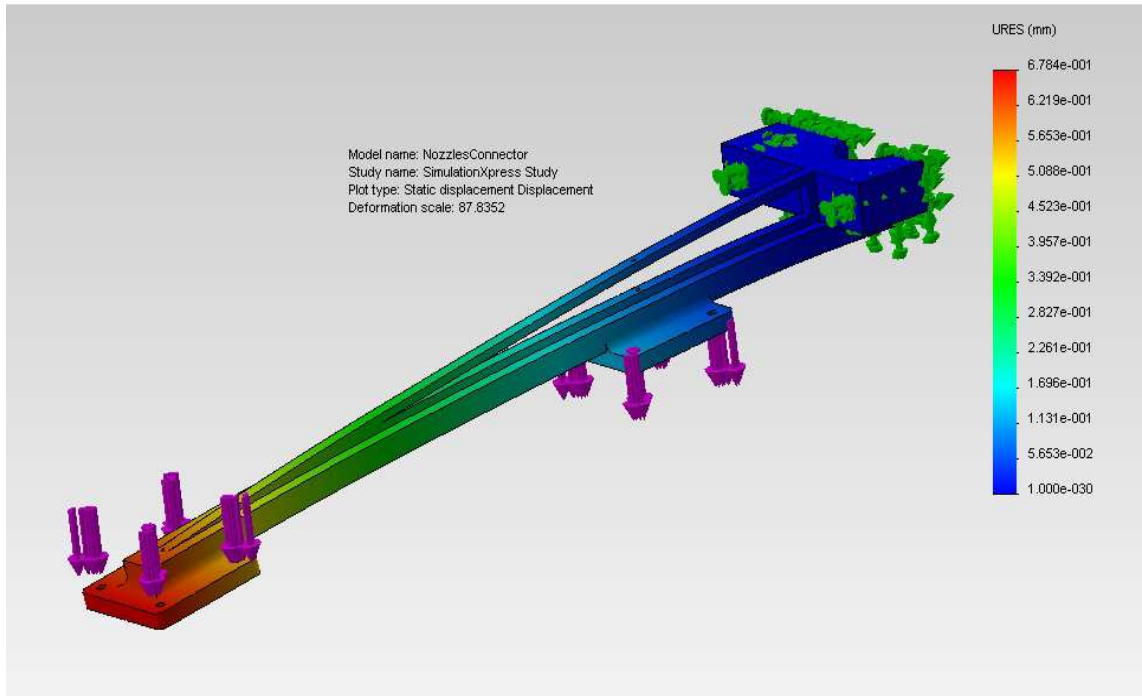


Fig. 48 Deformación

Como se puede ver, las tensiones no son en ningún caso críticas pero si las deformaciones, que alcanzan los 0,72 mm en el extremo. Tal y como se ha mencionado este valor excede el límite establecido, por lo que el diseño debe ser optimizado.

Para ello se produce una iteración en los cálculos, probando diferentes modelos, intentando aligerar la estructura y fortalecer la parte con mayor deformación mediante el uso de nervios. Tras algunas pruebas e intentos de modificar la sección e incrementar el ángulo de la barra de soporte se comprueba que las deformaciones siguen siendo muy elevadas. También se valora la idea de introducir una pieza interior de acero que rigidice, pero se descarta por el peso añadido que implicaría.

La solución final se traduce en una nueva elección de material. Tras nuevas comprobaciones se decide utilizar un aluminio aleado. Por supuesto esto implica un aumento en el coste al no poder ya ser una pieza impresa en ABS, sino un componente que ha de ser fabricado por otras vías, pero en este nuevo modelo el resultado es óptimo.

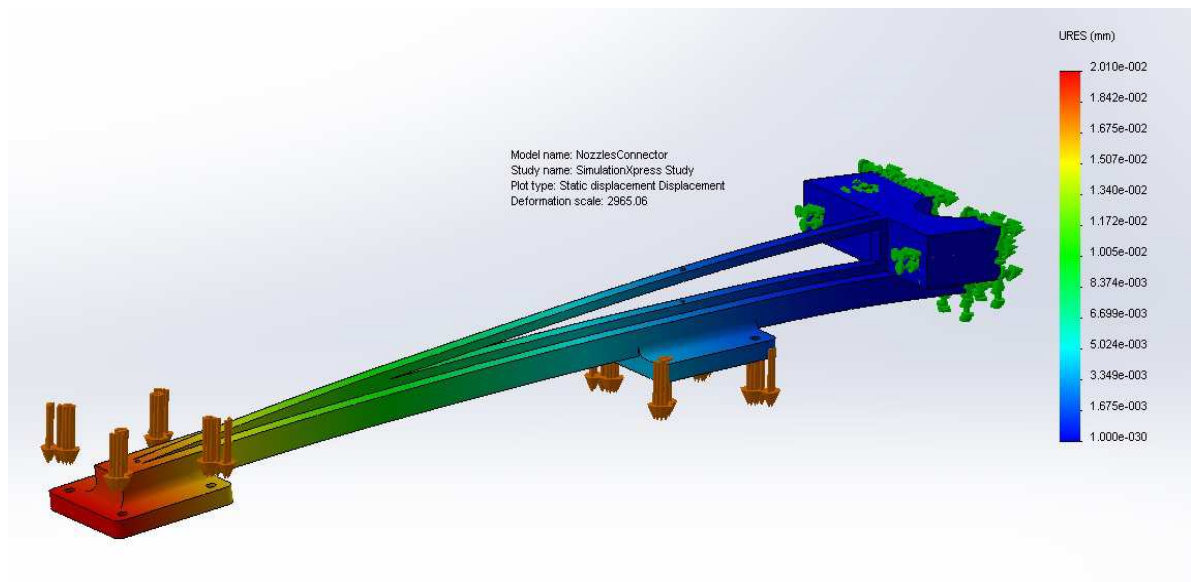
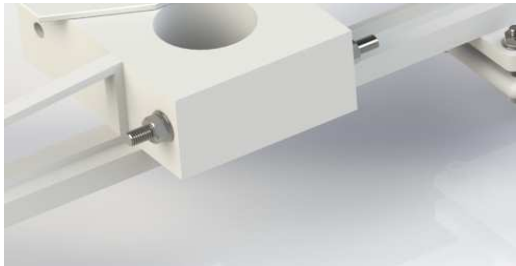


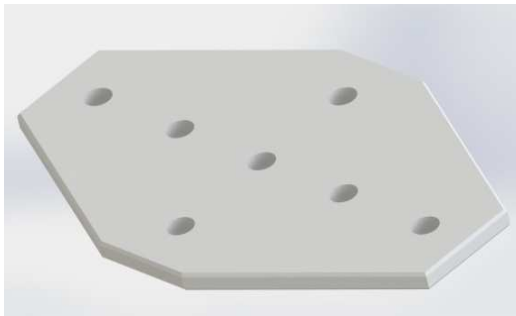
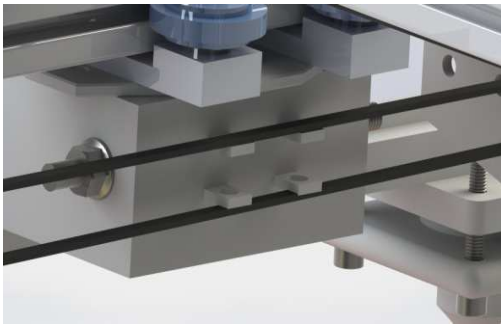
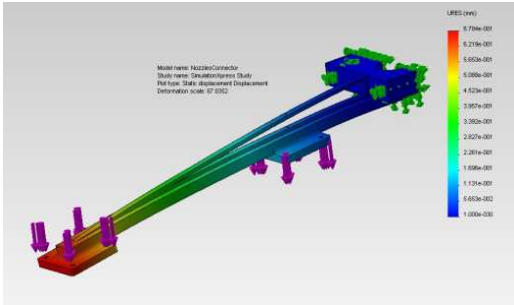



Fig. 49 Deformaciones cabezal aluminio

Tal y como se puede apreciar en este caso la deformación es de tan solo 0.02 mm en el peor de los escenarios. Se concluye pues que el diseño es válido.

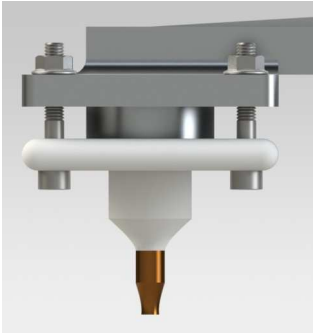
9.3 RESUMEN DE DISEÑO DEL CABEZAL

Requisito	Solución	Modelo
Estructura ancha	Dos o más piezas atornilladas	 <p>Fig. 50 Conexión simétrica del cabezal</p>
Ligereza y estabilidad	Eliminación de material sobrante y diseño de nervios	 <p>Fig. 51 Nervios del cabezal</p>
Conexión a las boquillas	Cuatro pernos M6 en cada bloque	 <p>Fig. 52 Conexión del bloque boquilla</p>
Alimentación de la fibra a la boquilla	Pequeños agujeros de guiado	
Conexión al sistema cinemática y su carril	Pieza impresa estandarizada por 80/20 adosada al carro del rail	 <p>Fig. 53 Conexión al carro</p>

Conexión con la correa de movimiento	Machos atornillados a la correa	
		<p>Fig. 54 Conexión de la correa</p>
Ausencia de vibraciones	Test mecánico, elección de nuevos materiales, aluminio	
		<p>Fig. 55 Test mecánico del cabezal</p>
		
<p>Fig. 56 Diseño final del cabezal</p>		
<p>Fig. 57 Resumen de diseño del cabezal</p>		

Capítulo 10. Boquillas

10.1 RESUMEN DE DISEÑO DE LAS BOQUILLAS

Requisito	Solución	Modelo
Diseño básico de la boquilla	Solución hecha en latón	<div><p>Fig. 58 Boquilla</p></div>
Conexión al cabezal	Cuatro pernos por cada boquilla	<div><p>Fig. 59 Conexión al cabezal</p></div>
Evitar deformaciones térmicas	Pequeña separación entre boquilla y cabezal	

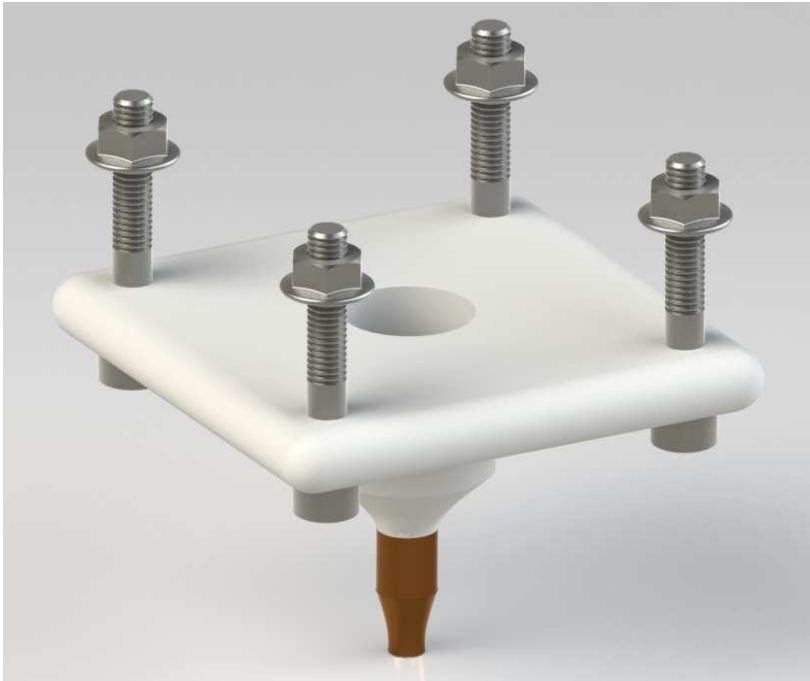


Fig. 60 Bloque sujeción boquilla

Table. 15 Resumen de diseño de las boquillas

Capítulo 11. Raíles perfilados

11.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Existe un amplio abanico de marcas que ofrecen diferentes soluciones similares de raíles perfilados. Se basan en las ventajas ya explicadas en la parte de contextualización del proyecto, que son el permitir el desplazamiento y el actuar como estructura de soporte.

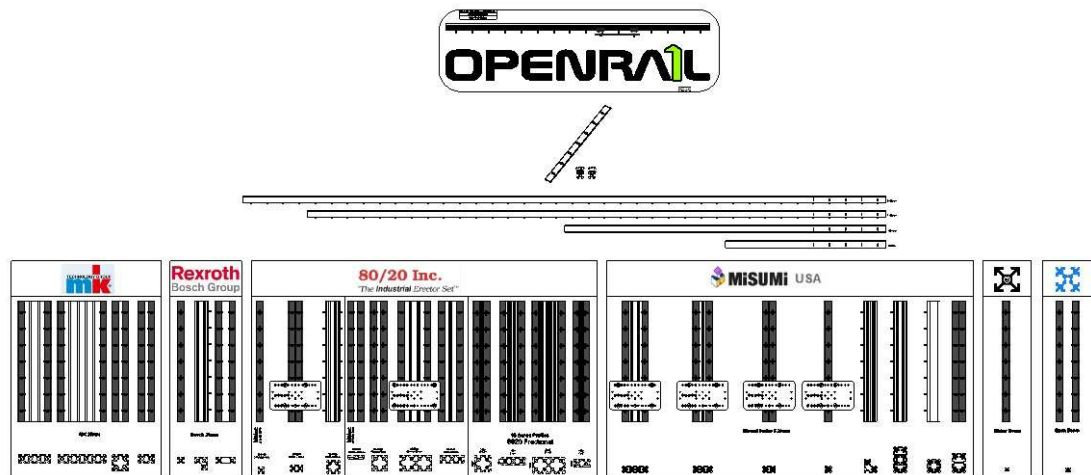


Fig. 61 Ejemplos de marcas de raíles

Para la realización de este proyecto se ha elegido el uso de los raíles de serie métrica 25 de la marca 80/20 Inc. Básicamente la decisión se ha tomado valorando el gran catálogo de raíles y accesorios que ofrece la marca, así como su reducido precio y la posibilidad de realizar estimaciones de deformaciones mediante un software propio y gratuito (tema que se tratará en el Capítulo 12).

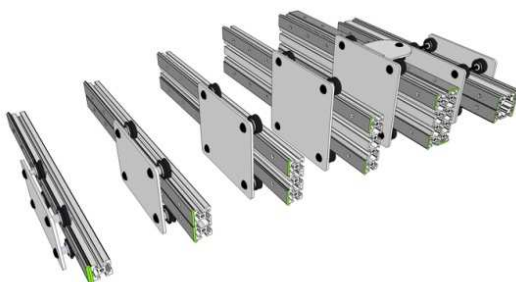


Fig. 63 Raíles de la marca Open Rails



Fig. 62 Rail metric 25

11.2 RESUMEN DE DISEÑO PARA EL MOVIMIENTO EN LA COORDENADA X

Requisito	Solución	Modelo
Raíl estable	Raíl perfilado de 500 mm marca 80/20 Inc	 <p>Fig. 64 Raíl perfilado</p>
Conexión con el cabezal	Carro estandarizado de 80/20	 <p>Fig. 65 Carro</p>
Movimiento sobre la coordenada		 <p>Fig. 66 Correa y rodamiento</p>


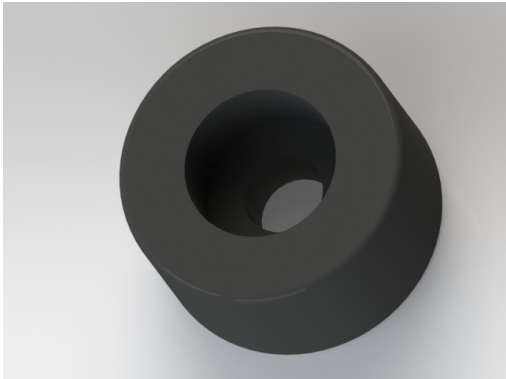


	Motor, correa y soporte	 <p>Fig. 67 Motor y correa</p>
Conexión a la coordenada Y	Pequeños agujeros para la fibra y ubicación algo descentrada para un correcto equilibrio	 <p>Fig. 68 Conector de brazo</p>
Limites en el movimiento	Finales de carrera de goma	 <p>Fig. 69 Tope de goma</p>



Fig. 70 Final rail X

Table. 16 Resumen de diseño de la coordenada X

11.3 RESUMEN DE DISEÑO PARA EL MOVIMIENTO EN LA COORDENADA Y

Requisito	Solución	Modelo
Movimiento a lo largo de la coordenada	Uso de raíl de 500 mm estandarizado de la marca 80/20 Inc.	 <p>Fig. 71 Raíl perfilado</p>
	Compra de carro estandarizado por 80/20	
	Topes de final de carrera de goma Motor y transmisión por correa	
		 <p>Fig. 72 Movimiento en Y</p>


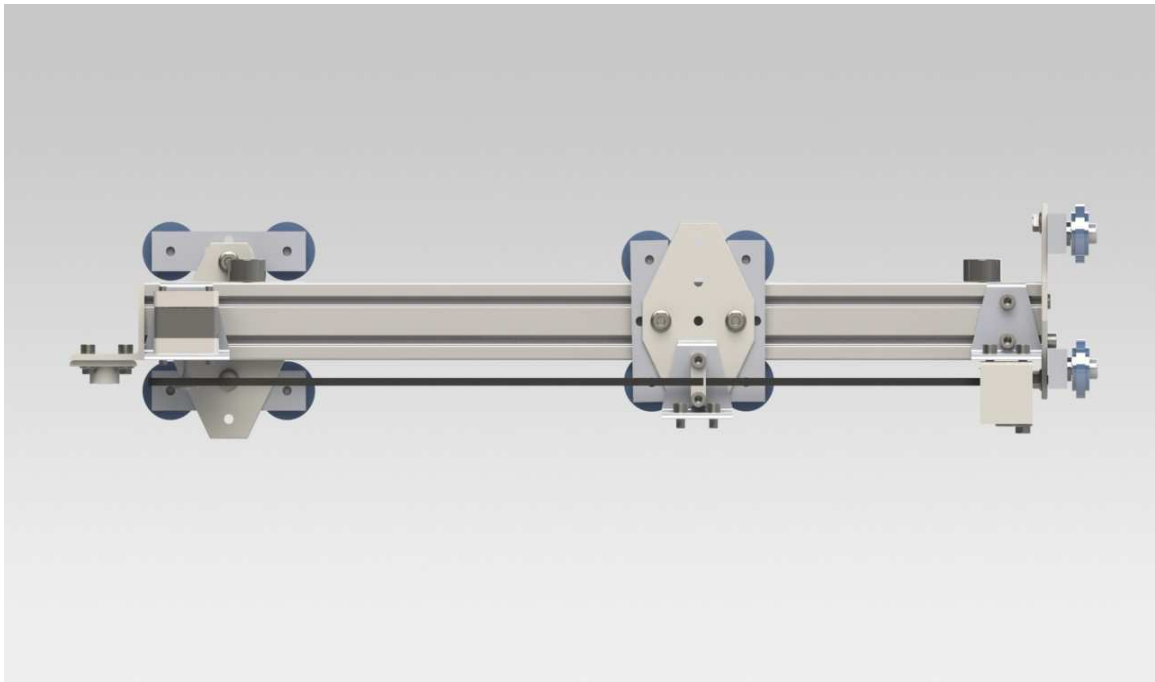

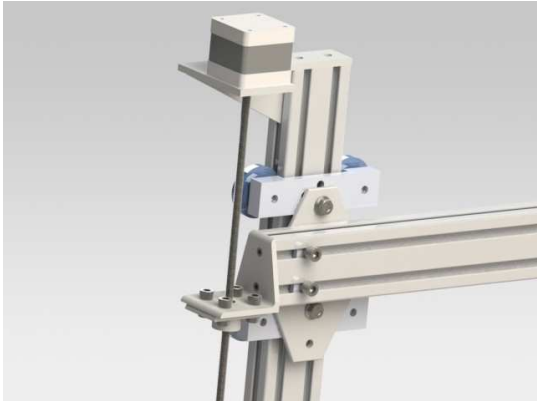

<p>Estabilidad estructural</p>	<p>Uso de dos columnas simétricas</p>	<div data-bbox="730 215 1386 871"></div> <div data-bbox="906 893 1182 920"><p>Fig. 73 Columnas simétricas</p></div>
<div data-bbox="272 976 1433 1655"></div> <div data-bbox="778 1673 916 1700"><p>Fig. 74 Final Y</p></div>		

Table. 17 Resumen de diseño de la coordenada Y

11.4 RESUMEN DE DISEÑO PARA EL MOVIMIENTO EN LA COORDENADA Z

Requisito	Solución	Modelo
Desplazamiento a lo largo de la coordenada	Carro estandarizado por 80/20 Inc.	 <p>Fig. 75 Sistema de movimiento en Z</p>
Conexión mecánica a la coordenada Y	Placa y pernos al carro adosando el carril	
Transmisión del movimiento	Motor Nema 17 y pieza de sujeción con análisis mecánico previo	 <p>Fig. 77 Brazo Z</p>  <p>Fig. 76 Pieza de sujecion del motor en Z</p>

	<p>Sistema de tornillo sin fin colocado en la posición correcta</p>	 <p>Fig. 78 Alojamiento tornillo sin fin</p>
<p>Conexión a la base</p>	<p>Pieza estandarizada por 80/20 Inc.</p>	 <p>Fig. 79 Pie estandarizado</p>



Fig. 80 Final Z

Table. 18 Resumen de diseño de la coordenada Z

Capítulo 12. Cálculos estructurales mediante Toolbox

12.1 INTRODUCCIÓN A TOOLBOX

Tras haber definido con el mayor detalle posible todas las especificaciones de la impresora así como realizado un diseño completo en CAD, sigue a continuación un breve análisis de las posibles vibraciones y deformaciones que sufrirían los brazos de la misma. Pese a que ya se han realizado estudios mecánicos en los anteriores epígrafes, la idea de realizar un nuevo análisis independiente reside en la importancia de los mismos.

Para ello, en este apartado se ha utilizado un software independiente a *SolidWorks* denominado “*TechToolkit*”. Este programa se distribuye mediante la página web del proveedor de los carriles perfilados, 80/20 Inc. y es una poderosa herramienta para realizar comprobaciones de diseño. En concreto, en este caso se introducirán diferentes esfuerzos aplicados en las condiciones más desfavorables, obteniendo como resultado el desplazamiento del carril asociado a esa situación. [39]

Otra de las funciones de este capítulo es servir también a título de ejemplo del uso de este software, para que pueda ser utilizado en la comprobación de diferentes variantes de la impresora diseñada o de otros modelos. Por supuesto es importante mantener una visión de conjunto y comprender que este test debe ir asociado a otras comprobaciones y al correcto diseño de todas las piezas.

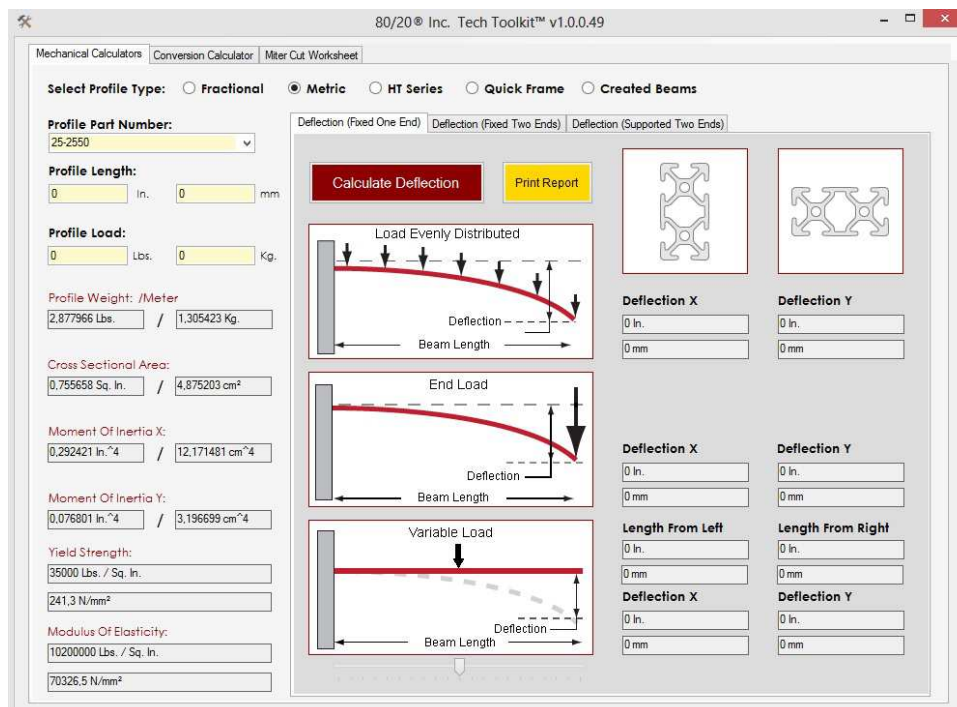


Fig. 81 80/20 Toolbox

12.2 RESULTADOS DEL TEST MEDIANTE TOOLBOX

Para poder obtener la carga máxima a soportar por el brazo sin superar la máxima deformación permisible, es necesario introducir una serie de parámetros, que se pueden resumir en los siguientes:

- En primer lugar el diseñador debe seleccionar el tipo de perfil. En este caso, **Metric 25-2550**
- Después, seleccionar el tipo de deformación en función de los puntos de fijación. En este caso dos empotramientos
- Seleccionar la longitud del carril: **600 mm**
- Iterar ciertos valores de carga hasta acercarse al máximo (pero un valor inferior) permitido.
- **La carga máxima es 38 kg.**

Select Profile Type: ☐ Fractional ☒ Metric ☐ HT Series ☐ Quick Frame ☐ Created Beams

Profile Part Number: 25-2550

Profile Length: 23,62 In. 600 mm

Profile Load: 83,79 Lbs. **38 Kg.**

Profile Weight: /Meter **INPUT**
2,877966 Lbs. / 1,305423 Kg.

Cross Sectional Area: 0,755658 Sq. In. / 4,875203 cm²

Moment Of Inertia X: 0,292421 In.⁴ / 12,171481 cm⁴

Moment Of Inertia Y: 0,076801 In.⁴ / 3,196699 cm⁴

Yield Strength: 35000 Lbs. / Sq. In.
241,3 N/mm²

Modulus Of Elasticity: 10200000 Lbs. / Sq. In.
70326,5 N/mm²

Deflection (Fixed One End) Deflection (Fixed Two Ends) Deflection (Supported Two Ends)

Calculate Deflection Print Report

Load Evenly Distributed

Deflection X: 0,001 In. 0,0253 mm

Deflection Y: 0,0038 In. 0,0964 mm

Load Centered

Deflection X: 0,002 In. **0,0498 mm**

Deflection Y: 0,0075 In. 0,1897 mm

Variable Load

Length From Left: 11,81 In. 299,974 mm

Deflection X: 0,002 In. 0,0498 mm

Deflection Y: 0,0075 In. 0,1872 mm

Length From Right: 11,81 In. 299,974 mm

Fig. 82 Resultados mediante toolbox

PARTE V: CONCLUSIONES

Capítulo 13. Resultados

El resultado de este proyecto podría resumirse como la creación del modelo de una impresora 3D casi lista para funcionar. Por supuesto, considerando que este proyecto tiene una orientación académica, hay que mencionar que ciertos aspectos no han podido ser detallados en profundidad, con la idea de en su lugar poder abarcar un conocimiento más amplio y genérico.

El proyecto comienza con un objetivo muy claro: Diseñar y construir una impresora 3D que sea capaz de crear múltiples objetos simultáneamente. Para ello, en la **PARTE I** es posible encontrar una serie de epígrafes con información existente sobre esta novedosa tecnología a modo de contextualización y antecedentes. Se describen ciertos aspectos sobre la historia, el mercado actual, y las ventajas e inconvenientes principales.

A continuación, en la **PARTE II** se da una visión general algo más detallada sobre una impresora 3D. Esta visión amplia ayuda a sentar las bases de los posibles conceptos a desarrollar. Con dichas bases, y conociendo las limitaciones habituales de dicha tecnología, en la **PARTE III** se realiza un acercamiento a las posibles mejoras y se concluye con la propuesta de los dos diseños considerados más interesantes.

En la **PARTE IV**, tras haber establecido los parámetros y características básicas de la impresora a desarrollar, se procede al diseño completo del modelo CAD. Por supuesto dicho diseño implica un gran trabajo que principalmente se puede observar ejecutando el modelo con un programa simulador y actuando sobre él, pero de cualquier manera se presentan los resultados de la manera más ordenada posible para el lector mediante tablas e imágenes del modelo. Cabe destacar que esta es la parte más compleja del proyecto en lo que al aspecto técnico se refiere, pero por otro lado el gran consumo de tiempo se ve recompensado con un modelo muy detallado que una vez terminado permite realizar una gran cantidad de estudios sobre él: análisis mecánico, prueba de colisiones y cinemática, masas y centros de gravedad, etc.

Además, cabe mencionar que la orientación de este proceso no era realizar un estudio mecánico en elementos finitos altamente detallado, sino ubicar éste en el marco de un proyecto completo de diseño e intentar mostrar de la mejor manera posible los diferentes discernimientos y decisiones que se han ido tomando y argumentarlos correctamente.

Al margen de las especificaciones anteriores, este proyecto también adjunta, con la idea de dar una visión aun más amplia, algunos anexos con diferente información, desde análisis mecánicos detallados, hasta un presupuesto y diagramas de organización de tiempos y recursos como por ejemplo un diagrama de Gantt.

Para resumir, a continuación se muestra en la siguiente figura lo que podría ser el resultado final del modelo CAD. Además, en los dos siguientes capítulos se detallan las contribuciones técnicas del proyecto así como diferentes ideas para futuros trabajos.

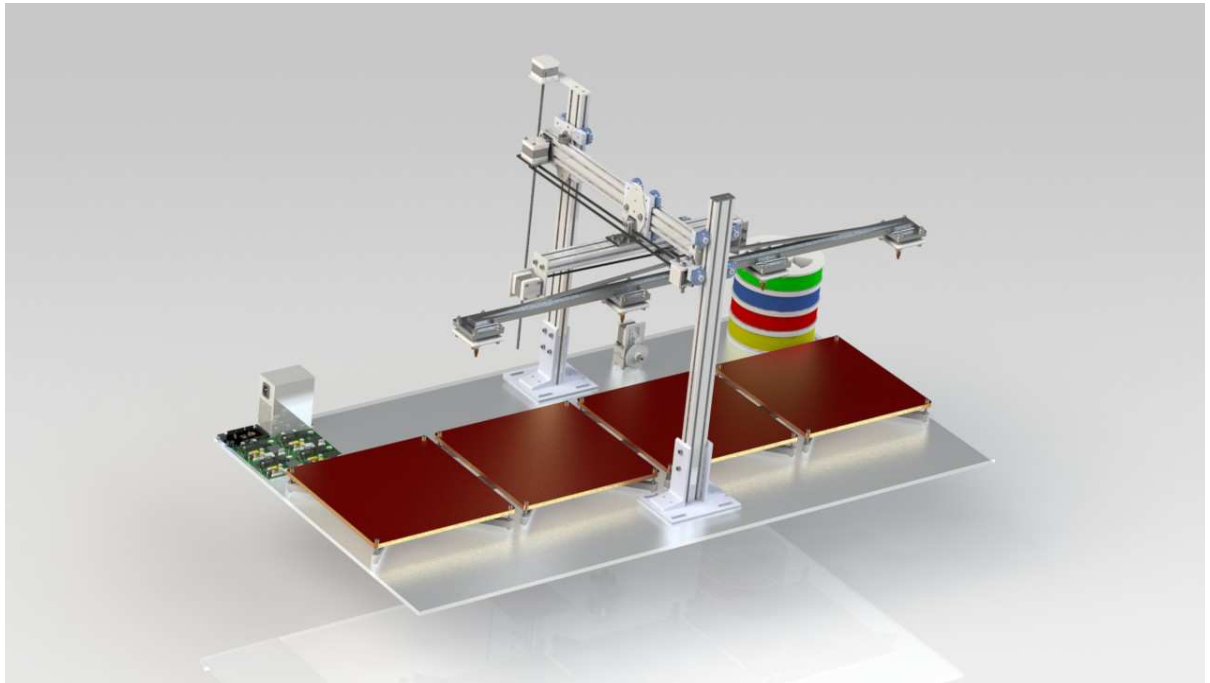


Fig. 83 CAD Final 1

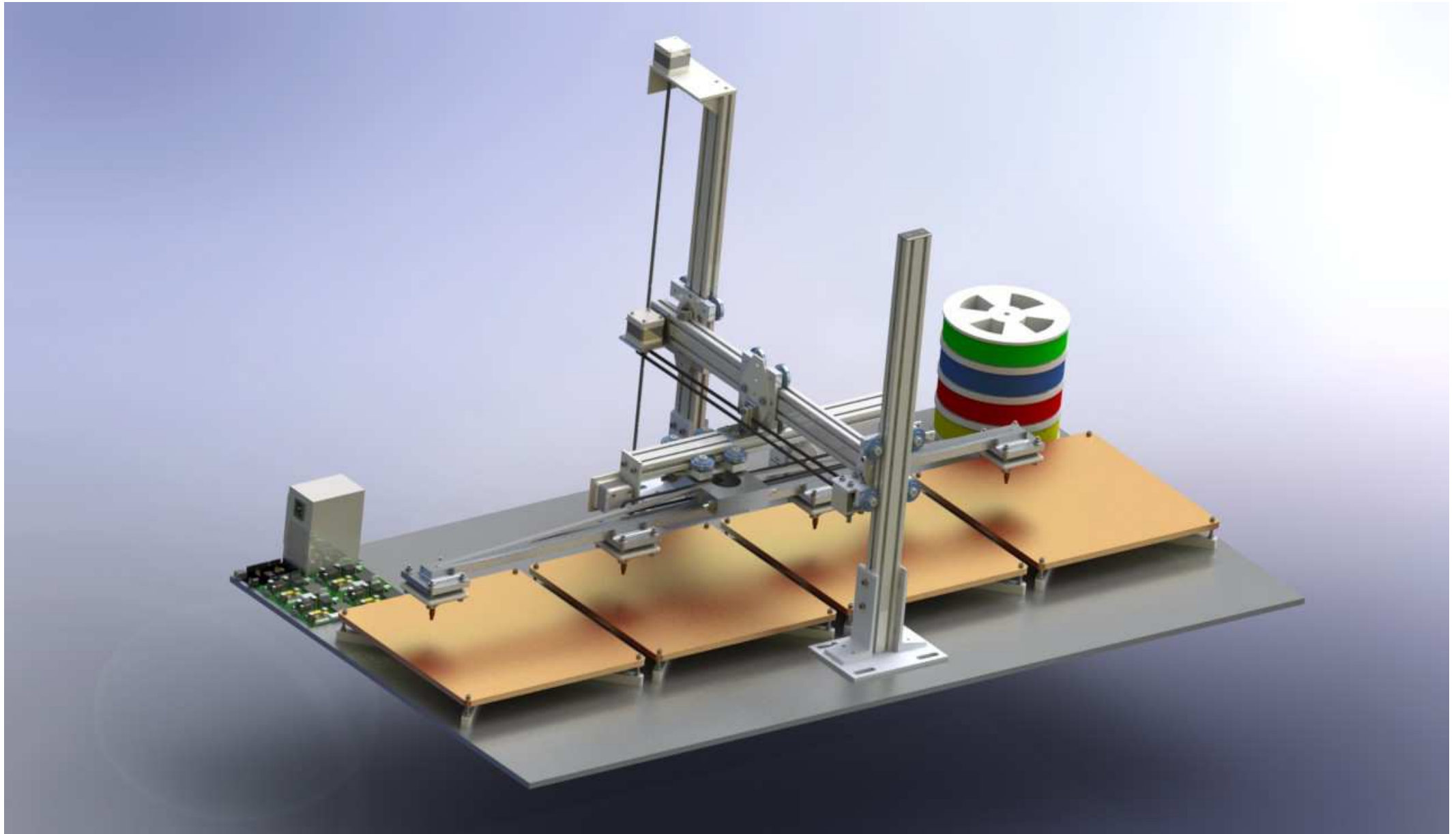


Fig. 84 CAD Final 2

Capítulo 14. Contribuciones técnicas del proyecto

En este capítulo se presenta un breve resumen de las contribuciones técnicas aportadas por el proyecto y consideradas de mayor relevancia.

- a) El modelo CAD. Dicho modelo permite a otros futuros diseños comenzar a partir de ciertas premisas de este modelo en lugar de comenzar desde cero. Además, el modelo incluye la posibilidad de usar las diferentes herramientas de *SolidWorks* u otro software CAD.
- b) Los análisis mecánicos de las diferentes partes. Estos análisis dan una buena base para asegurar cuando un diseño es fiable.
- c) La definición de las partes críticas. El clasificar algunas piezas con mayor importancia para las propiedades estructurales facilita el diseño y distingue de las de menor relevancia.
- d) Tablas de comparación y factores. Dichas tablas son una buena solución para cualquier otro diseñador que quiera contrastar diseños similares.
- e) El contexto y los antecedentes. Son un buen resumen para todo aquel que quiera conocer brevemente la historia de la impresión 3D y sus tecnologías básicas.
- f) Las ideas genéricas sobre la distribución de los cabezales.
- g) Los diferentes problemas aparecidos y solventados durante la definición de la cinemática básica de la impresora.
- h) Los diferentes costes y datos sobre masas de piezas, útiles para todo aquel que quiera sentar las bases de un nuevo modelo.
- i) La lista de materiales, que en unas pocas páginas resume todas las partes de la impresora, concretando materiales, precios y algunas referencias.

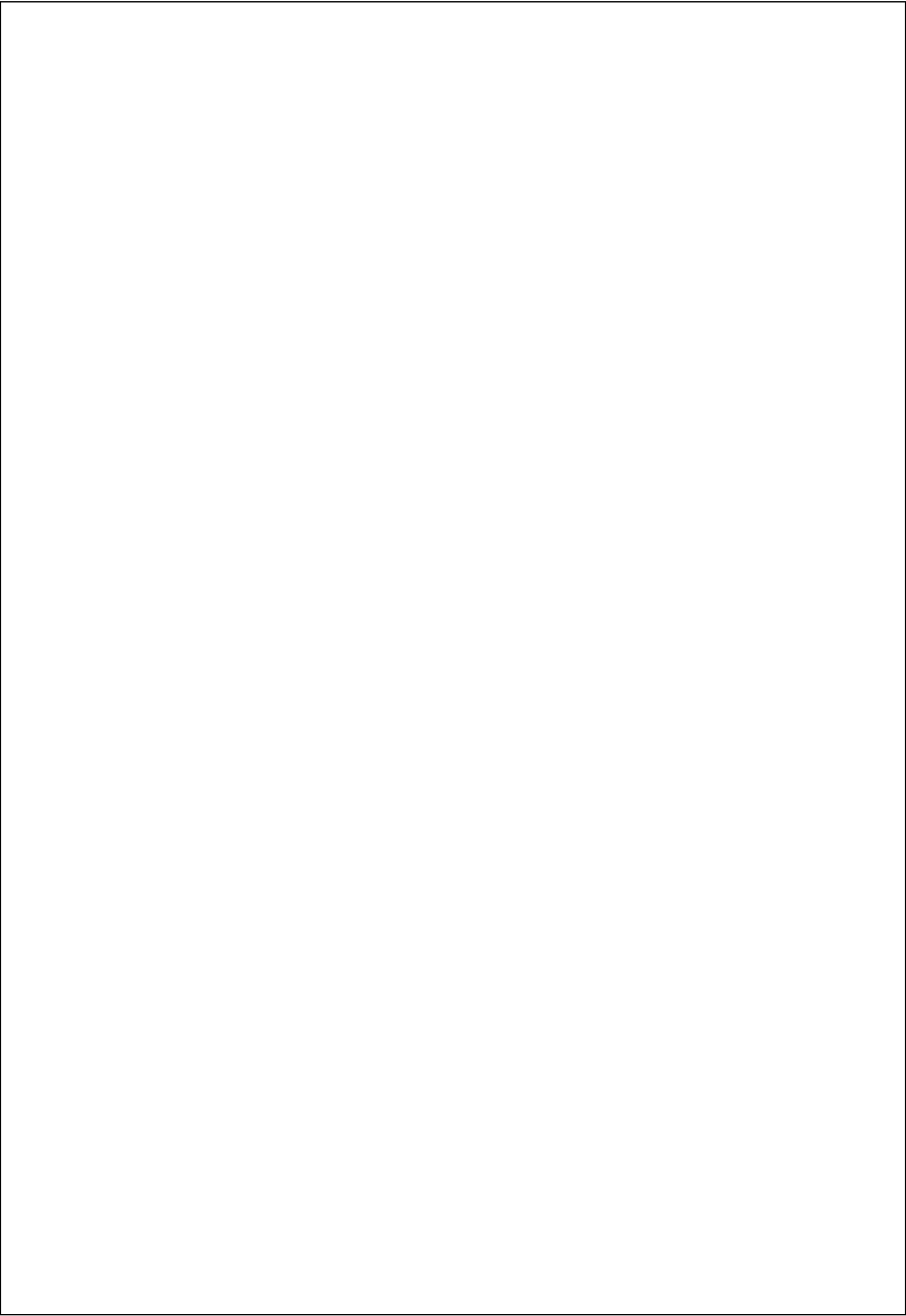
Capítulo 15. Futuros trabajos

De manera similar a otros proyectos con orientación académica, este tiene la ventaja de abarcar un amplio rango de temas y puntos de vista, pero por otro lado tiene el inconveniente de que en ocasiones ciertos temas no pueden ser estudiados en la profundidad que sería deseable, o quedan aparcados para futuros proyectos.

Un buen ejemplo de un interesante diseño pospuesto para un posible trabajo es el modelo planteado en el Capítulo 5.1, principalmente centrado en una estructura de ensamblaje modular.

Además, a continuación se enumeran sucintamente una serie de ideas que pueden ser interesantes para seguir trabajando en ellas:

- a) Test mecánicos: Los test realizados aportan una gran cantidad de resultados, pero sería posible profundizar aun mas o aplicar dichos ensayos a mas piezas.
- b) La distribución de los brazos y las boquillas: Esta podría ser quizá una de las partes más subjetivas del diseño inicial. Sería realmente interesante reestructurar el diseño utilizando otras distribuciones diferentes y comprobando las ventajas de cada una.
- c) Los materiales: En el proyecto se presentan diferentes piezas y hechas de diferentes materiales. Normalmente la idea principal es usar ABS en la medida de la posible, pero siendo conscientes de sus limitaciones mecánicas. Futuros trabajos podrían versar sobre este campo, probando diferentes materiales y viendo sus posibilidades.
- d) Sistema de raíles perfilados y correas: La elección de este sistema abre un gran abanico de posibilidades y disposiciones interesantes de desarrollar.
- e) Cableado eléctrico: Aunque la estructura básica de los elementos mecánicos es muy importante, es importante tener en consideración el cableado eléctrico. Este tema se ha tratado brevemente en el proyecto pero no ha sido desarrollado en profundidad en el modelo, por lo que sería un tema interesante en el que seguir trabajando.
- f) Transporte del filamento: De manera similar al cableado, es posible detallar el modelo y realizar nuevos diseños.
- g) El uso del robot delta.
- h) El uso de otras Fuentes de calor para fundir el ABS así como por supuesto el estudio de otras tecnologías como las impresoras 3D láser.
- i) Desarrollo de un manual completo de montaje y funcionamiento.



MEMORIA EN INGLÉS

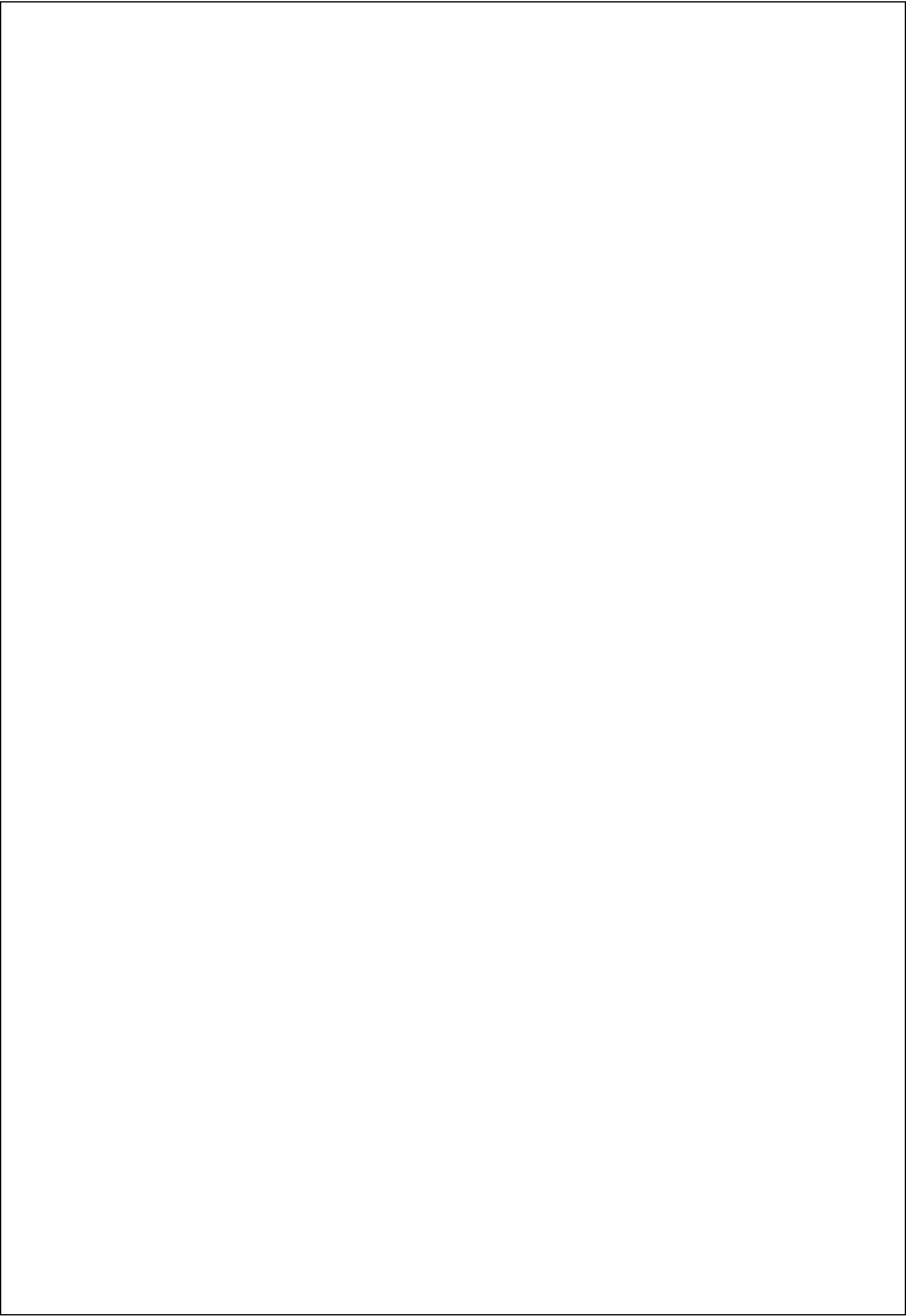
Work course of
Mechanical Engineering



Design of a 3D printer
capable of creating
multiple objects
simultaneously

Student name: Rafael Bobo García

Student number: g0404599



PART I: INTRODUCTION

The goal of this project is to explain the complete design process of a **3D printer capable of creating multiple objects simultaneously**.

For that, here will be several descriptions of different parts as a base to understand the possible improvements, but for a complete comprehension of how the system works the best option is to follow the different references to previous designs. Fortunately, 3D printing technologies are relatively new so there is a lot of information digitalized and shared into different websites. And even better, these technologies are usually based into the idea of sharing and common development so it is easy to find huge amounts of information and a lot of people trying to help. The best example for this “mentality of sharing” is the wiki “RepRap.org”.

Besides that, it is not the main point of this project to explain how a 3D printer is made or how it works, because as said, the project will be focused into the competitive advantage of multiple objects, even though, there will be also some general explanations and background.

Chapter 1. Background

1.1 3D PRINTING

First of all, “what it is to print?” One simple definition could be “to mark in paper or in other substrate with letters or any other graphic character”. The difference between printing and 3D printing is that in the second case a three-dimensional product is made. 3D printing is based on the additive process technologies.

Additive manufacturing describes a technology where an object is created by a sequential layering process. In other words, a cross section of the item is printed on a 2D substrate, but by moving this substrate layer by layer on Z coordinate, the result is a three dimensional product.

Although all 3D printing technologies share the same basics, it is important to differentiate between laser printers and typical fused deposition. The main differences are the heat source and the printed material. This project is focused into plastic printers even though the following figure is a good explanation of these common 3D printing principles and the working procedure.

HOW 3D PRINTING WORKS

3D printers work like inkjet printers. Instead of ink, 3D printers deposit the desired material in successive layers to create a physical object from a digital file.

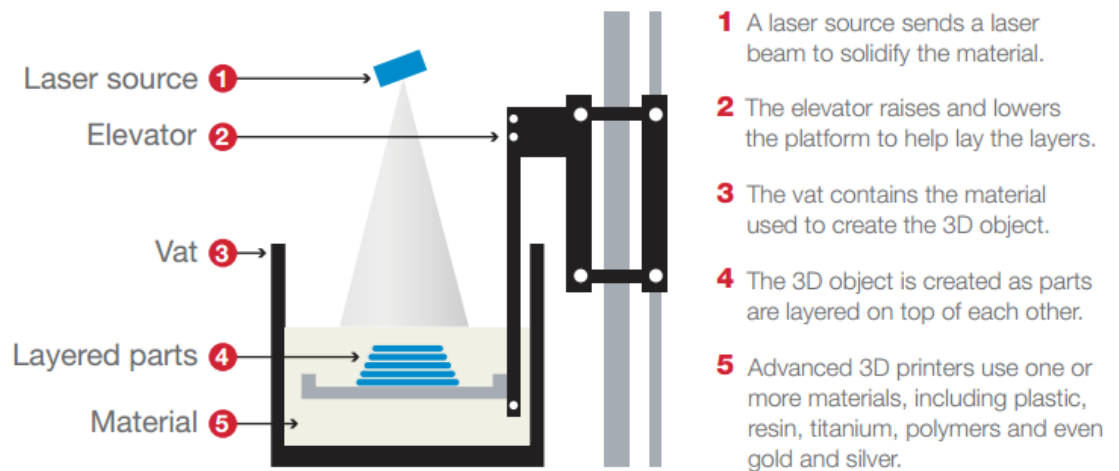


Fig. 85 3D Printing system

With this technology is possible to make different solid pieces from a digital model and without using the traditional machining techniques like cutting or removing material. Furthermore one of the main advantages of this technology is the ability to create almost any shape. Also it is important to mention the capability of result in a real object, ready to use, directly from a computerized 3D model made by the designer. [1]

1.2 HISTORY OF 3D PRINTING:

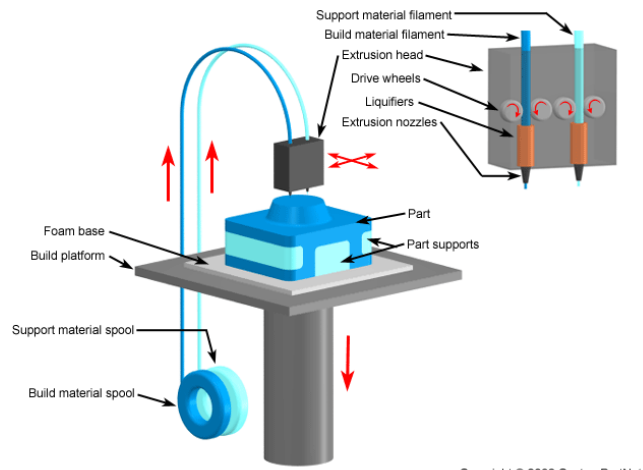
Several different 3D printing processes have been invented and continue into development since the late 1970s. Like in a lot of modern technologies as for example computer science, these machines were, at the beginning, large, expensive and with a lot of limitations; but time by time those have switched into cheaper, more reliable and smaller machines.

However, it is possible to assert that the first 3D printer appears around the year 1984 when a technology called “**stereolithography**⁴” was invented by Charles Hull. This technology was used to create a 3D model from a picture and allowed the users to test a design before investing in a real manufacturing program. [2]

⁴ Stereolithography: The first SLA (stereolithographic apparatus) machine is produced by 3D Systems. The machine’s process involves a UV laser solidifying photopolymer, a liquid with the viscosity and color of honey that makes three-dimensional parts layer by layer. Although imperfect, the machine proves that highly complex parts can be manufactured for example overnight with no supervision. [2]

After this, the next milestone on 3D printing development happens in **1987** with the invention of the Selective Laser Sintering: **Selective Laser Sintering (SLS)** was also developed and commercialized in 1987 by DTM (now a subsidiary of B.F. Goodrich), a process that involves laser melting powder like substances to create an object. [3]

Between 1988-1992 becomes the invention of Fused Deposition Modeling (FDM): **Fused Deposition Modeling (FDM)** uses nozzles and a glue gun like method to create three dimensional objects. It was the brainchild of Scott Crump in 1988, who a year later formed Stratasys to make his vision commercially viable. Their first FDM machine went on the market in 1992. [4]



Copyright © 2008 CustomPartNet

Fig. 86 FDM

1993-1996: In these years happened the invention of Three Dimensional Printing **3DP**: Three Dimensional Printing (3PD) was patented in 1993 by MIT and later licensed to Z Corp (now a part of 3D Systems), who developed the idea into the Z402 printer in 1996. The method is similar to that of a standard inkjet printer, but prints upwards in 3D as opposed to across in 2D. [3]

After all, in **1996** starts the term 3D printing and the **self-replicating** printers with the RepRap project [5].

In this project there will be a special mention for the whole **RepRap** project. This is because knowing that nowadays there are a lot of different webpages and communities, at the beginning this project did a great job unifying a whole community of developers and settled down the basic ideas of 3D printing and the future goals. It is also important to mention again the idea of creative commons⁵ and open-source system that they used.

1.3 THE REPRAP PROJECT

The basic ideas of RepRap project are completely explained on the document that the creators, D. Holland, G. O'Donnell and G. Bennett published: Open Design and the Reprap Project. [6], [7]

⁵ Creative Commons is a non-profit organization, which main office is in Mountain View, in the state of California. This organization is created to use and share creativity and knowledge with a number of juridical mechanisms which are for free. [40]

However, the best place to find all the information is the wiki-based website that was created [5]. On this website, they defined RepRap as:

RepRap is humanity's first general-purpose self-replicating manufacturing machine.

RepRap takes the form of a *free desktop 3D printer* capable of printing plastic objects. Since many parts of RepRap are made from plastic and RepRap prints those parts, RepRap self-replicates by making a kit of itself - a kit that anyone can assemble given time and materials. It also means that - if you've got a RepRap - you can print *lots of useful stuff*, and you can *print another RepRap for a friend...*

RepRap is about making self-replicating machines, and making them freely available for the benefit of everyone. We are using 3D printing to do this, but if you have other technologies that can copy themselves and that can be made freely available to all, then this is the place for you too.

Reprap.org is a community project, which means you are welcome to edit most pages on this site, or better yet, create new pages of your own. Our *community portal* and *New Development* pages have more information on how to get involved. Use the links below and on the left to explore the site contents.

RepRap was the first of the low-cost 3D printers, and the RepRap Project started the open-source 3D printer revolution. It has become the most widely-used 3D printer among the global members of the Maker Community.



Fig. 87 Self-Replicating

It is important to mention also other related pages for the whole community of 3D printing as for example **Thingiverse**. [8] On this website anybody can find a huge directory of pieces to be printed with any 3D printer. All these pieces are for free and publicly available.

1.4 CONTINUOUS DEVELOPMENT OF 3D PRINTING

Nowadays, a huge number of additive processes and Marker's communities are available for everybody, and due to the open source ideas aforementioned those are in continuous development. It is possible to bring up a few of these communities just as an example like:

- 3D printing Industry [9]

- 3D printer hub [10]
- Thingiverse [8]
- Fab@Home [11]
- Solidforum [12]

1.5 PRINTING AS A BUSINESS:

It could be now a good classification to separate into just typical **hobby printers** and **industrial printers**.

1.5.1 Hobby printers:

About hobby printers, knowing that almost everything is open-source it could be easy to think that this is not a real market, but indeed these printers move a lot of money. This is because all the related brands which are selling different components, starting from a small hardware store selling bolts to another brand selling complete kits of hobby printers almost ready to work. Even more, it is possible to find a wide catalogue of these 3D printer suppliers, some selling for example only the wiring kit or the heated bed equipment⁶. A good example of these brands could be:

- **Fully Assembled RepRaps:** 3D Industries Australia, 3dStuffmaker, ac123dc, BilbyCNC.com.au, BotMill, Mendbot Shop, Romscraj, Skb-Kiparis Ltd, The Future Is 3D
- **Full Reprapped Kits:** 3dStuffmaker, Create 3d, Reprap-Austria, ac123dc, BotMill, eMAKER Huxley
- **Non-RP Kits:** A2APrinter, flemingcnc Isaac, German RepRap Foundation (GRRF)

Many more can be found searching into RepRap and in other repositories like blogs and forums. [13]

1.5.2 Industrial printers:

From only the typical hobby 3D printers which almost everybody could build, and based on RepRap principles; there is an emergent and growing market of different specialized printers, each one with their differences.

⁶ These different parts will be explained properly during the whole document.

Also different enterprises are growing in this market. One simple example could be the “Rapid Product Development Association of South Africa”. It was founded in 1999 as the representative organization for RP industry and community within South Africa. According to RAPDASA, since the first 3D Systems SLA 250 was sold in 1991 the market has grown rapidly and in 2011 there were approximately 268 machines sold. Statistics from 2009/2010 shows Stratasys (through mainly Dimension/Uprint sales) had the majority of 3D printer market in South Africa, around 47%, and 3D Systems is in the 2nd place. [14]

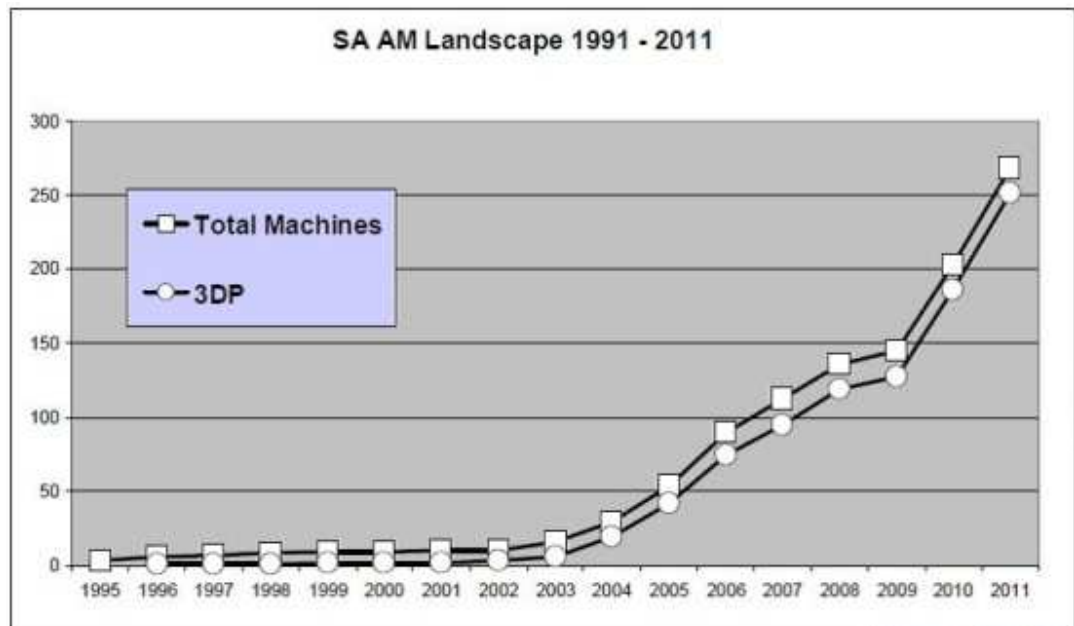


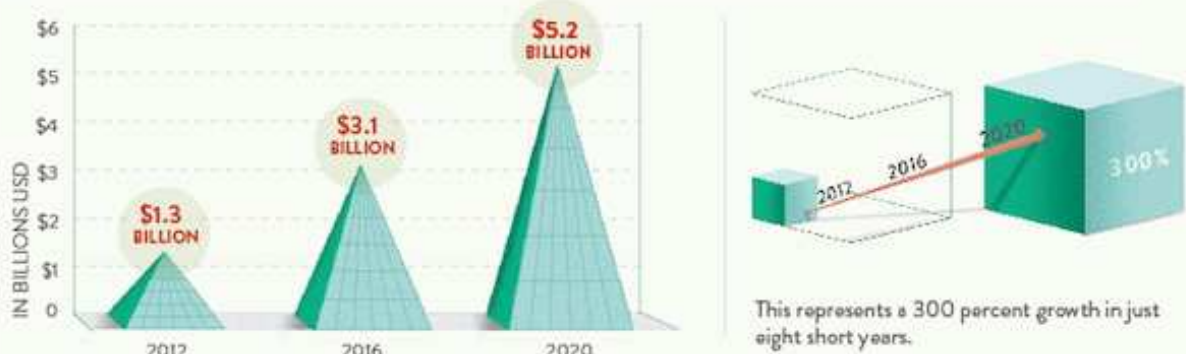
Fig. 88 AM Landscape

However, going even further it is easy to find a lot of articles in magazines and newspapers explaining these technologies and all the possible uses. Sometimes it is important to be realistic and do not trust in everything that they propone, which in a few cases are only exotic examples just for calling the attention of the reader. Anyhow it is clear that the market is having a good response and hopefully this will continue growing up.

- **Forbes Magazine:** “3D Printing Industry Will Reach \$3.1 Billion Worldwide by 2016.” [15]
- **BBC News:** “3D printer could help millions walk, say researchers.” [16]
- **3Ders:** “Singapore to invest \$500 million in 3D printing” [17]

THE GROWTH OF THE 3D PRINTING INDUSTRY

The 3D printing industry is expected to change nearly every industry it touches, completely disrupting the traditional manufacturing process. As a result, the projected value of the industry is expected to explode in the near future, reaching:



Several 3D printing companies are already publicly traded. The current top stocks are:

PROTO LABS
NYSE: PRLB*



3D SYSTEMS
NYSE: DDD**



STRATASYS
NASDAQ: SSYS**



*Price range since February 2012 IPO to July 2012 **Price range from July 2011 to July 2012

3D PRINTING IN PRACTICAL USE

Even though this technology is still very young, it is already being employed in a number of practical ways.



MEDICAL

The medical industry can print human body parts, including a human lower jaw that was successfully implanted in a patient earlier this year.



ARCHITECTURE

Designers use 3D printing to create models of buildings and developments. Some architects also use pieces printed from 3D printers to build structures with.



DEFENSE

The Department of Defense uses 3D printing to create highly specialized aerospace pieces quickly and cheaply.



AUTOMOTIVE

Auto enthusiasts, including Jay Leno, have used 3D printers to create discontinued parts for classic cars.

Sources:

On3dprinting.com | Forbes.com

HighTable

Fig. 89 3D printing market infography [41]

1.6 COMPETITIVE ADVANTAGES OF 3D PRINTING:

During the background some of the improvements or maybe the bases of possible advantages of the 3D printing technology have appeared, but to summarize a little bit here come the most important points.

1.6.1 Cheap manufacturing:

On 3D printing there is less human resource participating into the different stages. For example only one designer can make a piece with his CAD program and directly print it by a connected printer. With this he can make a prototype which everyone can see and touch to check different aspects. In this way, designer can obtain feedback, refine design and iterate until everything is correct. [18]

1.6.2 Quick production:

Based on the same principles than the previous point, with this technology it is possible to make, relatively fast, different pieces. This could be really interesting for manufacturing pieces by a small enterprise which does not have huge demand of pieces or for example online on-demand manufacturing. [19]

1.6.3 No material loss:

Comparing with typical manufacturing of plastic, by 3D printing the amount of generated waste is really low. This has a logical influence in cost because almost no material is lose.

1.6.4 Good Quality and new shapes:

With 3D printing it is possible to achieve a good quality, depending on the design of the printer and the materials used. Even more, this technology allows the designer to produce pieces with special shapes or structures which with classical methods could be impossible or really expensive and time consuming.



Fig. 90 New shapes

1.6.5 Affordability

This project is based on hobby 3D printers which have the explained principles of self-replicant and being really cheap, but even industrial printers can be really cheap comparing with other machines and the possibilities those give. [20]

1.7 DISADVANTAGES OF 3D PRINTING

Like with the advantages, here come some of the most important general limitations of 3D printing. Of course these drawbacks will be treated and studied deeply on later chapters and during the whole CAD design stage.

1.7.1 Material

Apart from recent developments or the use of laser additive technologies, hobby 3D printers have the limitation of the material. These only work with a few kinds of polymers. It is true that these could have some good properties, but still there are limitations, especially about thermal and mechanical properties.



Fig. 91 ABS rolls

1.7.2 Structural

It is possible to ensure that these printers can make really interesting and accurate shapes, but on the other hand there are some requirements. Basically, due to the layer by layer working system, some designs could collapse if designer do not include a proper support structure or some kind of extra nerves.



Fig. 92 Holding structure

1.7.3 Size

Because of different limitations of the printer like the size of the bed or the structure of the kinematic system, these printers are a little bit limited about the size of the piece which can print. It is usual to find heated beds with a size about 300x300 mm.

Of course there are some exceptions and printers made for making wider pieces but however those are not the common ones.

1.7.4 Productivity

This could be one of the reasons for making this project. Mentioned above it is possible to find as an advantage the “quick production” (1.6.2) and “cheap manufacturing”(1.6.1) that these printers provides. But these ideas should be considered into a relative manner. 3D printing can make the whole manufacturing process fast, or be a quick solution for a strange piece, but indeed 3D printing is not a rapid process. It takes a lot of time, hours, to print a piece.

Would not be great to do it faster? What if we get two, four or ten times the amount of pieces into the same processing time? Of course this would mean a really important **cost reduction and a better productivity**.

PART II: A 3D PRINTER

Chapter 2. Goal of the project

As mentioned in the introduction part, the goal of this project is to design a 3D printer “capable of creating multiple objects simultaneously”, but once again, why this?

In the last chapter it has been mentioned the **productivity** of the printers. To increase this productivity is the real goal. Of course there could different ways to achieve that, but the selected is to build four objects in the time that a printer usually only would make one. For this the solution is clear: use one printer but with four nozzles that prints four copies.

But, how to do that?

Chapter 3. Main parts, design issues and improvements.

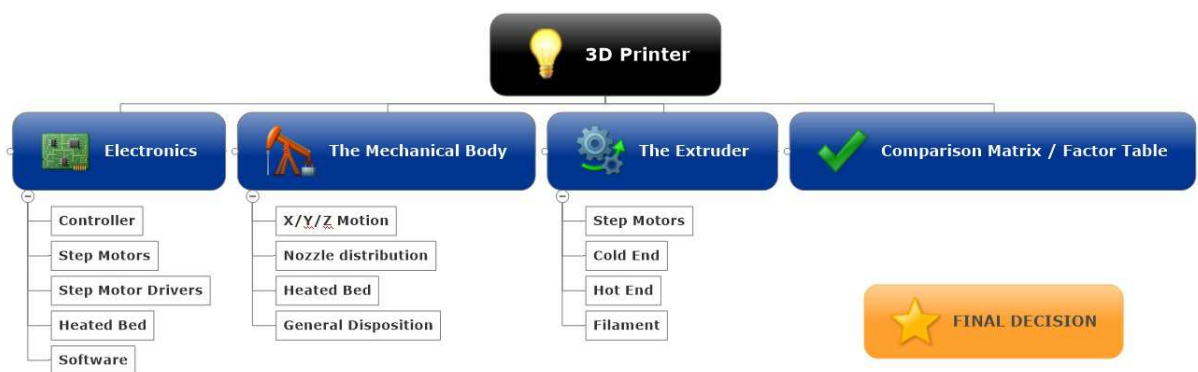


Fig. 93 3D printer schema

3.1 OVERVIEW OF A 3D PRINTER

On the next pages there are descriptions of the different possible parts which a 3D printer could use.

Furthermore, after the description or even during that, several discussions are showed in order to contrast different ideas to reach the optimal generic design for a 3D printer. Of course on each part or property there are different criteria but in overall the main goals are like in all typical Engineering products: A really working design, reliable and trustworthy, good looking and cheap.

Besides that, there will be also some new ideas to solve the different issues. There could be new applications or even combinations of older ideas into a different way. However, both methods finally give a lot of possible designs so, in order to have a final decision as clearly as possible, these different options are going to be classified, whenever it might be, into charts. Applying different comparison methods as for example giving factors some ideas will be dismissed and some other will be taken into deep consideration.

After this comparison and description stage, in Chapter five, the considered as the two most interesting designs will be showed up.

3.2 EXTRUDER

Extruder is an important part of the printer. The main objective of this piece is to deliver properly the fiber filament from the “cold end” to the “hot end” of the nozzle. Also a good extruder should be able to dose the filament precisely. Speed of the extruder is indeed an important factor.

The cold end is the initial part of the nozzle, which temperature is lower than the melting point of the filament. It is used as a guide of slender filament to avoid its buckling between extruder and the hot end.

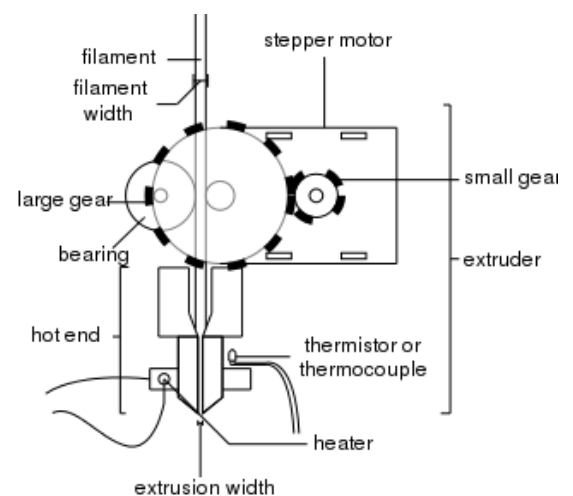


Fig. 94 Geared Extruder

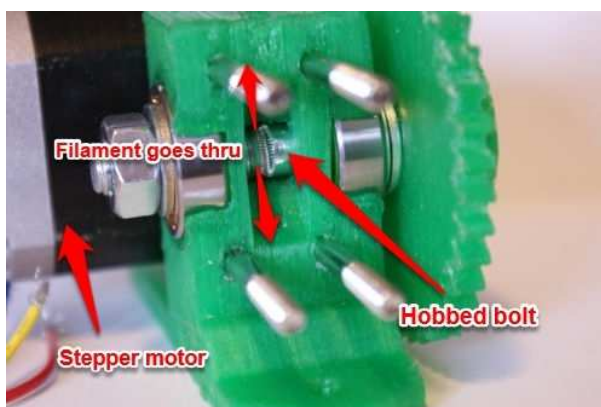


Fig. 95 Extruding system

On the other hand, the hot end is where the “melting happens”. This point is going to be explained deeply on the final design stage but for summarizing it consist of a brass nozzle which is heated by resistors. This heat melts the plastic so the plastic deposition can happen.

Besides that, the working principle of the extruder is a tangentially drilled bolt (hobbed bolt) which is spinning around its axis. This bolt also faces a bearing (which has a parallel axis). Both pieces are almost in contact, leaving only a small gap for the filament. By this system the filament is pulled through this space.

Furthermore, the extruder needs a certain strength to be able to force the raw material through the extrusion width, (usually between 1.75 and 3 mm for the filament and 0.5 or 0.4 mm for the nozzle); and also with enough speed. [21], [22]

3.2.1 Typical problems of extruders

As shown, extruder is one of the most complicated parts of the printer so sometimes it has more problems than other simpler parts. The main issues could be summarized as:

- Weight.
- Control and wires.
- Price: Motor.
- Vibrations.
- Grip to the filament.

Furthermore, as any other part, each extruder means more pieces, more weight and the need of a motor, which also demands wires and a control system. Keeping in mind our lemma “the simpler it is the better” again appears the idea of avoid or reduce all these parts somehow. [22]

3.2.2 Possible improvements in extruders

At the moment that the project requires to use four filaments to be delivered to four nozzles, it is necessary to decide how to do that as the simplest way.

The cases could be divided in three:

a) One remote extruder: With this unique extruder the design somehow should manage to pull of four filaments.

b) Four remote extruders: In this case each extruder has to take care only about one filament. This is the most commonly used design, basically because almost all the printers use only one fiber.

c) Four non-remote extruders, over the nozzle: This design is almost like the previous one but now each extruder is placed over each nozzle. With this idea is possible to avoid the typical problems of Ed’s Bowden extruder but of course it translates into the requirement that each one should be moved. In other words, less printing speed and more energy demanded.

By a remote extruder there is a reduction of the number of pieces which have to be in constant motion, or in other words the continuous movement of a certain weight. Also with less extruders, less pieces are needed so it consequences in a cost saving. [23]

By the other hand, in remote extruders some complications as lack of grip, hysteresis, bending or twisting of the filament might appear.

For example, designers of Bowden extruders talk about hysteresis. For every extruder there is a compression effect in the filament, but if this is long, such effect will be multiplied, leading into springiness. They provided a solution which is using encoders in every filament, but of course this implies an extra cost and more assembling problems. [23]

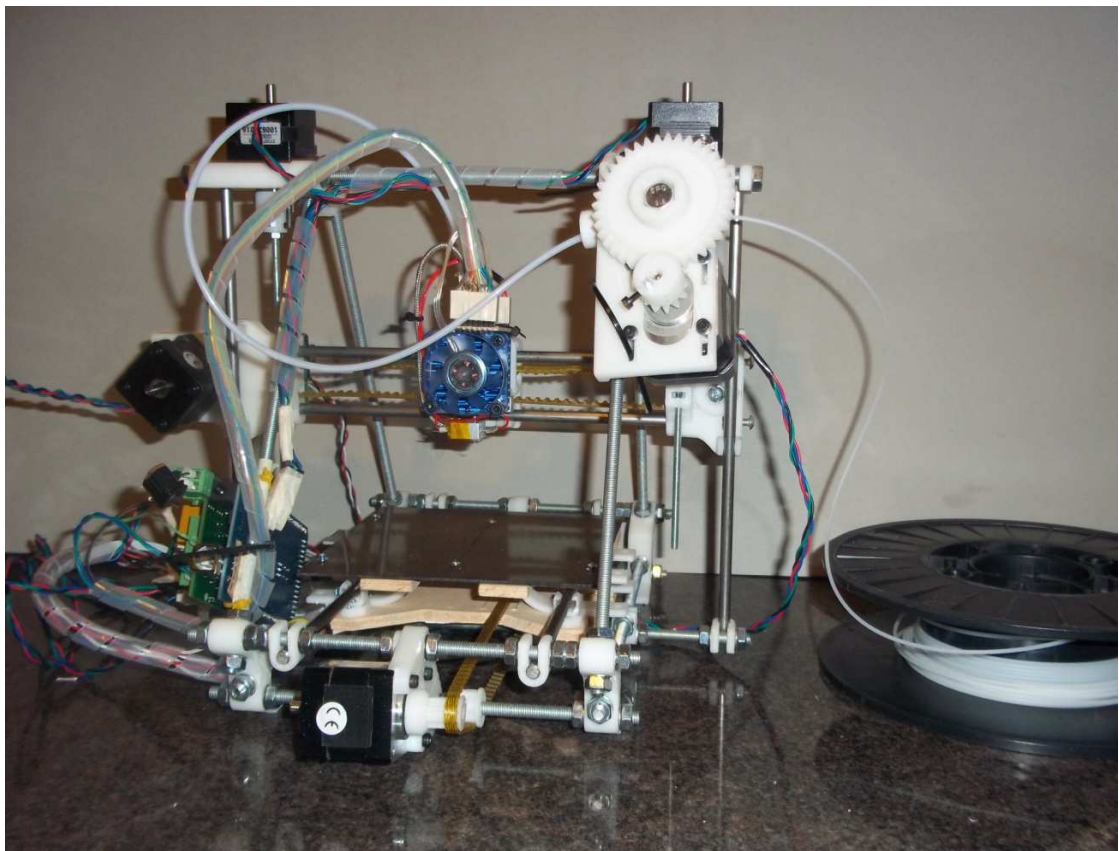


Fig. 96 Ed's Bowden Extruder

Besides that, it is important to qualify some details:

In the case that there is a bed moving in one axis and the header is moving in the other two, the weight of the nozzle still has influence. But when the nozzle is not moving at all and the bed is making all the motion, the mass of the header must not be considered as an energy factor. In this second case designer only should take into account the price. However this aspect of the design will be mentioned deeply at the design stage of the heated bed.

Anyhow, a Bowden extruder also needs a path for the filament. This path should be different on each design but basically it consists of two main parts:

- Different fix points which mark and guide the path of the filament, avoiding collisions and knots.
- A tube or sleeve for guiding the filament. This tube should be stiff enough but also it should bend at least into a minimal radius. Usual recommendation is to use a simple Teflon tube. It is really affordable, with good elasticity and also the coefficient of friction of PTFE (Teflon) with ABS is low enough to not losing much energy. In addition, all these tubes are standardized and can be easily found in almost every hardware store or even on the internet. [24], [23]

3.2.3 Comparison of different options


Besides all the previous ideas, the best for making a general decision is to study the needed parts of an extruder, and consider how much money and energy could be saved using only one extruder for the four filaments. For that here follows a classification of the different parts of a typical extruder. Of course all these parts may defer on every design but it might be a good approximation. Moreover, it will be divided into printed parts and bought parts.

3.2.4 Printed parts

The main advantage of these parts has already been mentioned, but anyways based on the self-replicant idea is possible to get all this pieces by another 3D printer, so the cost can be only the raw material. That means that the price is assumed only multiplying the weight by the price of the ABS.

For the weight of printed parts, using the 3D model in SolidWorks and considering ABS's density about 1.02 g/cm^3 .

For the price, estimated ABS at 30\$/Kg (see bill of materials, item 67).

Quantity	Description	Price (\$)	Weight (g)	Diagram
1	extruder block Fig. 97 Wade's Extruder block	1.31	43.7	

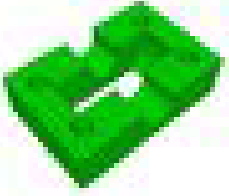
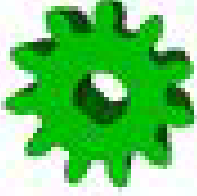
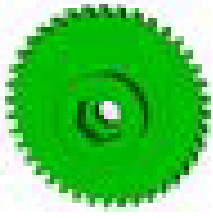
1	extruder idler block Fig. 98 Wade's Idler block	0.16	5.25	
1	11 tooth drive gear Fig. 99 Wade's gear 1	0.03	0.9	
1	39 tooth M8 hub driven gear Fig. 100 Wade gear 2	0.39	13	
Total		1.89 \$	62.85 g	

Table. 19 Geared Extruder, printed parts [25]

3.2.5 Non-printed parts:

Non printed parts are the ones that cannot be made using 3D printing process. This group includes fasteners, bearings, and some structural elements. As they are mass produced parts, their prices are rather low. Also sometimes this pieces offer several competitive advantages or properties that ABS printed parts cannot reach.

Quantity	Description	Type	Comments	Price (\$USD)	Weight (grams)	Total weight (g)
Feeder						
2	608 bearings, skateboard bearings	Bearings	13.6 \$ pack of 10 13.6 grams eachs	2.72	27.2	54.4
1	M8×50 bolt	Fastener	to be hobbled, M8×60 has a longer smooth part, allows a second lock-nut, and may be easier to find	0.4	24.9	24.9
1	M8 nut	Fastener	Nyloc works better, but a pair of nuts will also work	0.1	3.2	3.2
4-5	M8	Fastener	to space the large gear clear	0.1	2.54	12.7

	washers		of the motor retaining bolt heads			
Idler						
1	608 bearing, skateboard bearing	Bearings		1.36	27.2	27.2
1	M8×20	Threaded rod		0.4	13.4	13.4
4	M4×60 or M4×45 hex head bolts	Fastener	Hex head will work best (they won't turn), and longer than 45 mm will be easier to assemble if you can find them.	1	4.7	18.8
4	M4 nuts	Fastener	typically wing nuts	1	0.57	2.28
8	M4 washers	Fastener		1	0.45	3.6
16	M4 washers	Fastener	optional; 4 washers on each M4X45 idler bolt between the main block and the idler block will limit the idler travel and make reloading filament easier.	0.5	0.45	7.2
Stepper Motor Mount						
3	M3×10 bolts	Fastener	Low profile bolt heads might work better here	0.5	1	3
3	M3 washers	Fastener		0.5	0.4	1.2
1	M3 grub screw	Fastener	To secure the pulley, ideally 8mm long, but anything 6mm+ should be fine	0.5	1	1
1	M3 nut	Fastener	To secure the pulley	0.1	0.3	0.3
Extruder Mount						
2	M4×20 bolts	Fastener		0.2	2.7	5.4
2	M4 nuts	Fastener		0.2	1	2
2	M4 washers	Fastener		0.2	0.45	0.9
Total						181.48 g

Table. 20 Geared Extruder, Non printed parts [25]

3.2.6 Nozzle parts:

Quantity	Description	Unitary weight	Total weight	Unitary price	Total price
1	brass nozzle	8.7 g/cm3	11.5	20 €	20 €
1	brass heater block	8.7 g/cm3	8,6	3 €	3 €
92 mm	M3 threaded rod	5 g	5 g	0.095 €	0.095 €
58 mm	M3 threaded rod	2.5 g	2.5 g	0.047 €	0.047 €

8	M3 nuts	0.29 g	2.32	-	-
4	M3 washers	0.1 g	0.4	-	-
~200 mm	Kapton tape			1 €	1 €
~100 mm	PTFE tape			1 €	1 €
1	3W, 5%, 6R8 vitreous wire-wound resistor, 200°C			1 €	1 €
1	glass-bead thermistor (100K, NTC)			0.5 €	0.5 €
200mm	connecting wires	-	-		

Table. 21 Nozzle parts

3.2.7 Stepper motor and stepper motor driver carrier:

Stepper motor can be considered as the most important part of the extruder. This motor provides the needed torque to move the gear which then moves the rod. There is a wide catalogue of stepper motors. Here follows an example of a possible one which is provided by the brand Poulu. [26] [27] [28]

Unit		Cost per unit (USD \$)	Cost per four units (USD \$)	Weight per unit (g)	Weight per four units (g)
Stepper motor	Pololu 1 Kg-cm		52		560
	Pololu Hybrid 3.17 Kg-cm	20		350	
Stepper motor driver carrier A4988		10	40	10	40
Total		30	92	360	600

Table. 22 Stepper motor comparison

The difference is that in the case of using only one stepper motor, the more powerful one, Poulu Hybrid with 3.17 Kg-cm torque should be used to guarantee the extrusion of four filaments. Other option could be using a smaller motor with another gear for a different transmission ratio, but in that case, the velocity of the extrusion becomes a new problem.

Anyways, a good design of the piece in which the stepper motor is placed is important, and it should allow a good movement of the filament with the idler. Moreover, in the case of using one motor, the diameter and the position of the four fibers should be taken into account.

3.2.8 Hobbed bolt:

After stepper motor, the hobbed bolt is other of the pieces which has an extra relevance on the extruder. Basically it consists of a typical bolt (it is possible to use different sizes, for example in this case M8x50). This bolt will be hobbed or modified to

adapt itself properly to the shape of the filament. In other words, with for example a drill, a tangential drilling is made to the bolt. [25]

Another advantage of this system is that the remaining thread of the bolt act for helping the friction.

By the other hand, a new design for the extruder is needed. This has to be well minded, and it should allow a good movement of the filament with the idler. In the case of using one motor, the diameter and the position of the four fibers should be taken into account.



Fig. 101 Hobbed bolt

There are several ways for making the hobbed bolt, so one of these methods could be used just with the change of making four slots instead of only one. Finally the decision was not to make four slots, but to make only one but bigger. Also the space where the bolt is sheltered should be reconsidered.

3.2.9 Final Extruder Comparison

	Weight (g)	Price (\$USD)
ONE EXTRUDER	594	42
FOUR EXTRUDERS	1577	142

Table. 23 Extruder comparison

Note that in the case of using only one extruder we save 100 USD \$ and also there is no need to assemble the same thing four times, so assembling time is saved.

Furthermore, with this unique extruder 594 grams are moved instead of 1577 when there are four extruders over the nozzle (not considered the nozzles which are always there).

3.3 LINEAR X AND Y MOTION

Knowing the basic way of work of a 3D printer it is clear that it needs some kind of kinematics. Later on this project the different options for these movements are going to be explained, but however a motion system is a mandatory requirement for printing.

Basically in this field there are two main types of solution for achieving this movement: Linear motion slider based on a single profiled rail and linear slider based on two smooth bars and bearings.

3.3.1 Based on two smooth bars and bearings:



It is the cheapest design and also follows the philosophy of reprop cost effective printers, because it is easy to build and not so many parts are used. As a design requirement two smooth bars are needed because in other case, the motor could turn around the bar and be unstable.

3.3.2 Based on single profiled rail:

This product is usually used in professional designs. It is easier to buy well designed servos or only the profiled rails, but on the other hand could result more expensive than other systems. Furthermore, a wide variety of power could be used from different brands.

3.3.3 Delta robot:

The main difference of this system is that it is not purely based on a typical X-Y coordinate system; actually the key feature is that it uses parallelograms in the arms, [29]. Delta robot is an interesting technology and also still in development, but its main goal is the efficiency of its movements, [30]. On the other hand it also has several drawbacks as for example it is harder to program and should be properly calibrated before starting to work. [31]

Model	Advantages	Drawbacks	Weight	Cost	Image
Smooth bars and bearings	Cheap Relatively easy to assemble Becomes from easy parts	More space requirement.	Lighter	Cheaper	 <p>Fig. 102 Bars and bearings</p>
Profiled rail	More accuracy Less friction Better structural properties	Hard to make by your own. More expensive	Heavier	More expensive	 <p>Fig. 103 Profiled rails</p>


Delta robot	Fast. Different kinematics allows different arms disposition. Really efficient movement	More complex design and programming Not good for big movements	Average	More expensive	
-------------	---	---	---------	----------------	---

Fig. 104 Delta arms

Table. 24 Kinematics comparison

3.4 NOZZLE

As nozzle is possible to define the whole composition which has these two main functions:

3.4.1 To heat and melt the fiber of plastic:

There are several ways and designs for achieving this but in overall it could be explained as a thermal resistor (one or more) connected to a block of a highly conductive metal as for example brass. Then, another piece (which could be purely defined as nozzle), with a conical shape on the end, is placed into this block. The brass block could raise different temperatures into a range as for example 150 to 200 Celsius degrees. Furthermore the typical electric consumption of this nozzle could be around 20 W.



Fig. 105 Nozzle overview

3.4.2 To guide and focus the printing:

As said, nozzle consists on several parts but of course a brass piece with a conical shape. This is made to focus properly the fiber which the extruder is delivering. The diameter of the nozzle is always small (even thinner than the fiber itself) typically in a range between 0.5 and 2 millimeters, depending on which part and what kind of fiber is used.

Over from above, nozzle has many other requirements.

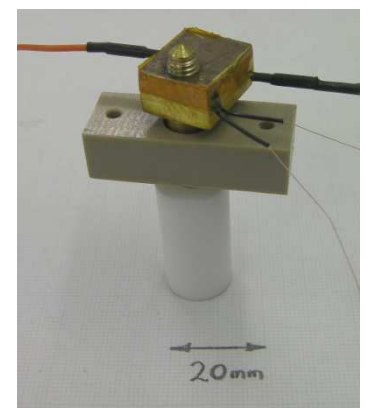


Fig. 106 Brass block

For example the temperature should be monitored and controlled, so for that a good solution is to use thermistors⁷. Besides that, the whole nozzle system needs to be properly placed somewhere where the motion happens. In other words it should be connected to the header and well fixed to avoid vibrations, [32]. There are some discussions about these topics on different communities.

Also another trending topic is the thermal isolation. These nozzles are made typically by brass. This has the aforementioned advantages but one important drawback is that sometimes, because of their good thermal conductivity, the heat goes up through the nozzle and raises the fixation part (which is made by plastic) or even worse, starts melting or warping the fiber before it raises the hot end. For that, some maker have utilized and developed designs trying to avoid that this heat goes up. Typical are the use of fans and fins to achieve a higher dissipation on the upper part.



Fig. 107 Nozzle types

However, in the field of nozzles there could be a lot of improvements, but not so much related with the productivity which is the main goal of the printer of this project so there will not be further investigation about that except how to combine and distribute four nozzles. [25]

In the following table is possible to find a comparison of the ways of distributing the nozzles. On the drafts, in pink color there is the heated bed, and in black there are the different nozzles and their working area:

Name	Advantages	Drawbacks	Draft (view from above)
X-Crossed	<ul style="list-style-type: none"> -Tube profile acting as plastic guide. -More space efficiency. -Equilibrated forces. 		

Fig. 108 X-crossed nozzles

⁷ A **thermistor** is a type of resistor whose resistance varies significantly with temperature, more so than in standard resistors. The word is a portmanteau of thermal and resistor. Thermistors are widely used as inrush current limiters, temperature sensors, self-resetting overcurrent protectors, and self-regulating heating elements.

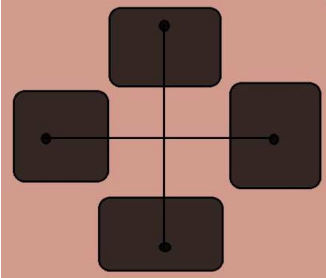
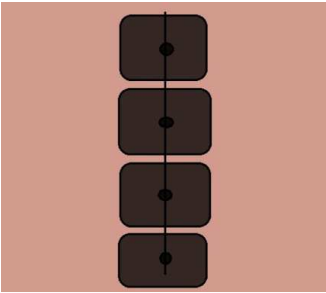
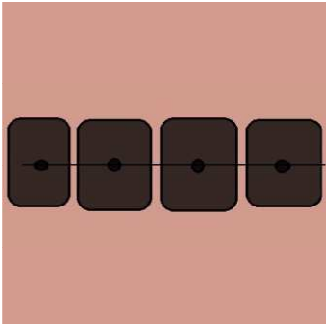
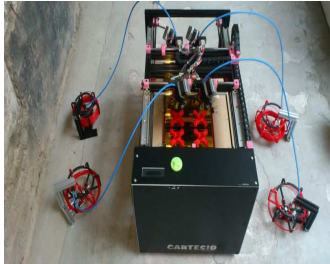
+ Crossed	-Tube profile acting as plastic guide.	Less printing space efficiency	 <p>Fig. 109 Cross crossed nozzles</p>
Linear on Y axis	-Possibility of modulation assembling. -Thin printer comparing with linear on X	Flexion and warp. Unbalanced forces.	 <p>Fig. 110 Linear Y nozzles</p>
Linear on X axis	Best design for avoid structural issues. It could also use 4 different motors for feeding the plastic. Balanced forces	Less space efficiency. We need a wide printer	 <p>Fig. 111 Linear X nozzles</p>
Cartesio	Better structural properties	Complex and expensive design	 <p>Fig. 112 Cartesio printer</p>

Table. 25 Nozzles distribution

3.5 HEATED BED

Talking about printing always goes hand in hand with talking about substrates. In 3D printing there is no substrate, only the board or table where the extruded material lays. This one is a really important part of 3D printers.

The main function of the heated bed is to prevent warping. Basically, when the extruded plastic cools down it shrinks slightly. This is not a problem if under the new layer there is an older one which is still cool down, but when this shrinking process does not occur through a printed part, the result could be a warped part. It is easy to find this warping by examining the corners being lifted off of the bed. By printing on the heated bed it is possible to maintain the printed part warm during the whole printing process. [33], [34]

However, it is easy to think about using only a simple board of some flat and smooth material as a heated bed, but indeed much more considerations should be made:

3.5.1 Flatness of the bed

Table should be properly calibrated and the distance to the hot end of the nozzle has to be constant during the whole printing process [35]. As the bed is never perfectly flat, the tolerance for the flatness is roughly not more than half of the thinnest layer the printer is supposed to produce.

3.5.2 Straightness of the bed

Also calibrations for this parameter are needed. In the case of some instability or imbalance, a deformed piece could be the result. Also even the whole surface where the printer is placed might not be flat.

3.5.3 Adherence of the bed

A non-properly prepared bed can result in a bad adherence of the plastic to the base, and also the possibility of a “bubbling” effect exists. Typical problems could be the existence of dust or finger print grease on the surface.

3.5.4 Rigidity and vibrations of the bed

The bed should be stable and made by a material which is stiff enough. In case of movable bed, the quality of linear bearings and the stiffness of guide rails affect the distance between the bed and the nozzle during operation. This affects the quality of produced parts.

3.5.5 Size of the bed

There are basic limitations about the maximum size of the heated bed. This limitations mainly come from the energy that is required to heat the bed and also because the thermal losses. Even more, depending on the material of the bed, there could be some dilatations, so it is better if the table is not so big [33], [36], or it could warp under the thermal load. Another limitation is achieving tight flatness tolerances for large surfaces.

3.5.6 Movement of the bed

Printing an object can be made by different ways [37]:

- Moving only the bed
- Moving only the header
- Combination of both methods:

Apparently the best system should be the one which only moves the header, because the movement of the heated bed (which is heavier) is avoided, but indeed this system has an important limitation. At the time that movement in one axis is transmitted, the other motor should be free of motion in the opposite coordinate, sliding over some rails, as seen on Fig. 113.

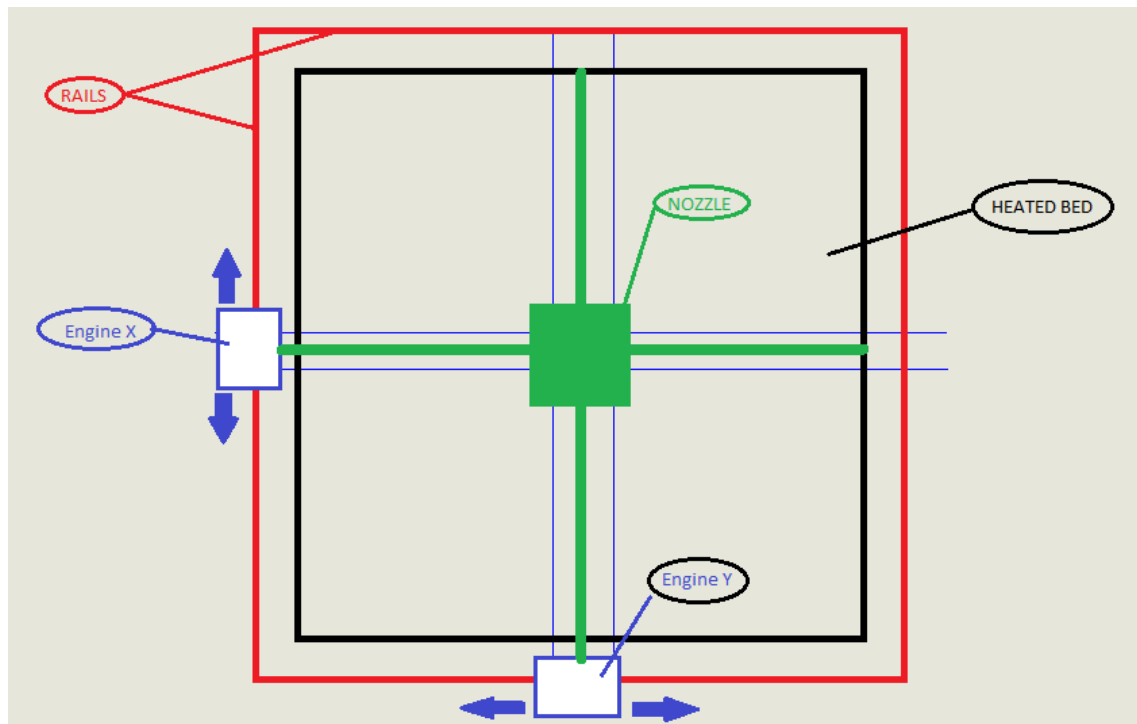


Fig. 113 Bed/header movement

As shown in the drawn, motors should be able to run over the red rails. If for example Motor Y is transmitting movement to the header, the whole set of Motor X and its transmission should move over the rail as the blue arrows indicate.

This results in a strongest structure, but heavier and harder to assemble. Furthermore, there are more pieces required so finally it is a more expensive option.

After all, the technology typically used is a mixture of two movements. With one motor the X coordinate of the header is moved and with another motor the Y-coordinate of the table is moved (or vice versa). In this case both motors are independent so no need of these rails structure.

A different discussion starts about the movement on the Z axis. For these motion also two solutions can be adopted, movement of the header or movement of the heated bed.

3.6 HOW TO TRANSMIT THE MOVEMENT

Formerly it has been explained the paths of the movement, or in other words, how the different moving work but, how to transmit this movement? Designer should be able to go from the movement of the shaft of the stepper motor to a lineal one.

For that, the most common used way is to connect a belt to the carriage. Of course this is only one of the possible ways, which could be chains, cables or even directly by a screw⁸.

Also here appears a new interesting design which is the use of winches. Basically it will consist of a stepper motor connected to a cable which is also connected over a rail or some kind of sledging system. It could be compared with a typical belt system but only with cables and for vertical forces.⁹

3.7 KINEMATICS SYSTEMS COMPARISON

Once again the best criterion for decision is to check the number of pieces, weight and cost of one typical heated bed, and see which change could worth.

Quantity	Description	Comments	Weight (g)	Total weight
1	Heated Bed	300x300x3 2.2g/cm3	594	594
4	M3x40 screw		2.1	8.4
4	M3 nut		0.29	1.16
8	M3 washer		0.12	28.32
4	M8x50 screw		24.9	99.6
16	M8 washer		1.83	29.28
12	M8 nut		3.2	38.4
1	Thermistor	Epcos B57550G103J		
1	Wires			
Total one heated bed 300x300				799.16 g (x 4)
1	Structure for connecting 4 independent beds		2072	2072 g
Total weight of FOUR heated beds				2871 g

Table. 26 Heated bed weight

With the data from above, it is shown that moving the header means moving 594 grams in the best case (only one extruder), 1577 grams when there are four extruders, plus the four nozzles weight; and by the other hand the motion of the four heated beds results on moving at least 2871 grams.

⁸ This will be explained later on Chapter 11

⁹ More details on Part III: New Designs

Chapter 4. Comparison of different designs

4.1 COMPARISON TABLES

Here comes a table which compares the different options analyzed on this first stage of the project, looking for basic advantages and drawbacks.

REQUIREMENT	BEST SOLUTIONS	ADVANTAGES	DRAWBACKS
Extrusion for 4 filaments	4 remote extruders	Less moved weight	Think how to ensure the deliver and hysteresis
	Over the nozzle extruders	Based on typical design	More expensive, heavier and more pieces needed
Melting of four filaments	PTFE sleeve nozzle	Reliable and cheap	Assembly
Movement on X or Y-coordinate	Hardened steel guides with rods	Cheap Possible to be made from easy parts	Friction. Instability. Accuracy Assembly
	Single profiled rail	Less friction Better structural properties Accuracy Easier to assemble	Price
Movement on Z-coordinate	Winch system	Based on wade extruder. Cheap. Light	Bad accuracy, risk of break, hysteresis of the wire, calibration
	Screw drive (1 motor)	Cheaper. Only motion when desired Accuracy Easier to plug	Need of mechanics for symmetrical movement
	Screw drive (2 motors)	Accuracy Only motion when desired Balanced weight	Need of calibration of motors
Heated bed	Four heated beds connected	Easy to assemble Good isolation No thermal losses	Heavy Need of calibration
ABS storage and covering	Remote roll and nylon cover	Simple	Jam
Wiring of motors	Plastic covers	Cheap	Space requirements, especially in big designs
Structural stability	Screws and joints	Cheap	Fragile
	Profiled rails	Reliable Lot of possibilites	Expensive

Table. 27 Requirements and solutions

Design	Factor						Total value (less is better)
	Price	Energy	Assembly	Availability	Accuracy	Others issues	
	Coefficient						
	1	1	0,8	1	1	0,8	
	Given value multiplied by the coefficient						
One remote extruder	1	1	1	1	1,5	1	5,1
Two remote extruders	2	2	1,5	1,3	1	0,8	6,14
Four remote extruders	3	2,5	2,5	3	1,5	1,5	10,2
For over the nozzle	2,5	3	3	3	1,2	0,8	10,24
Winch system	1	1	0,8	2	1,5	1	5,94
Screw drive	1	1	1	1	1	0	3,8
Steel guides with rods	1	1	2	1,5	1	0	5,1
Single profiled rail	2	1,5	1	1,1	1	0	4,4
Rubber handmade HB	2	1,5	3	2	1,5	0	7,4
Ready PCB heated bed	3	1	1	1,5	1	0	4,3
Aluminium sheet	1	2	2,5	2	2	0	8
Modular (top over top)	1	1	3	3	2	1	9,2
Delta robot design	3	1	3	3	1	0	7,4

Table. 28 Designs comparison

4.2 MAIN CONCLUSIONS OF COMPARISONS:

- One remote extruder is the lightest and cheaper way to deliver the filament, but it should be well designed.
- Moving only the header could be good in energy terms but indeed is not always used because of a quite difficult design.
- Two different motors on each side seems to be the best choice for the Z-coordinate.
- The nozzle position should be well balanced.
- Already built heated beds are easier to use.

It is important to mention that in these first conclusions there are not all the results of the project. In other words, these are only the first ideas which appeared and were considered as basics of the design. Further solutions and even some decisions which might look contradictory to these basis will be considered later.

PART III: NEW DESIGNS

Chapter 5. Focusing the design

After studying the current situation of 3D printers, the typical issues, possible improvements and criteria for deciding how to get better results, here comes the real design part, where new ideas should be studied and taken into practice.

By the comparison tables it is possible to derive a series of conditions for the optimal design, but indeed the relationship between different ideas is more complicated and sometimes the last decision is made by common sense. In the next pages two main designs are suggested, each one with a main important advantage or difference between the others.

5.1 PROPOSED DESIGN 1

Consist of two independent extruders, with two nozzles per each. By placing one header in the top of the other, a modular system is created. Also a winch system for the Z coordinate is used as a new improvement.

Why this design?

The two independent extruders system gives the advantage of printing two different set of pieces (or the same four but in two colors). This gives more flexibility to the system but of course, on the other hand it has the drawback of two more motor set needed.

As the point that this design is minded to print two different sets, it could be a great idea if the printer is made in a modular construction that allows even further the chance of adding parts to get another set. Considering that one of the conditions of the printer is to be portable through a medium sized door (800 mm width) without many assembly operations, the design cannot be expanded in X or Y coordinate, but it could be expanded in height.

The idea of modular assembly technologies can be found in so many fields and it has been always a good idea to increase the productivity and cost efficiency. By the other hand, this modular construction requires a well thought design and must be able to assembled and disassembled fast.

About the winch system, it is possible to find several examples and also in progress designs on different forums and in reprap.org. It could be really interesting to continue searching on this and seizing the ability of winches to raise a big mass with a relatively small power.

Moreover, for this design, based on modularity will be a great idea the use of profiled rails. The utilization of these has been growing in industry mainly because it is a comparatively cheap way and besides that, the rail makes two functions: a path for sliding and a structural component able to hold weight and be assembled in many ways. Furthermore, the different companies provide a lot of useful components and accessories for these rails for an acceptable price.

Design 1	Flexibility
New idea	Extra advantage
2 Independent extruders	Different sets
Modular construction	Flexibility, easy to handle, better storage
Pile format	Space efficient
Connection system (to be designed)	Easy assembling
Winch system	Lighter and flexible in height
Profiled rail	Better structural properties and easier to assemble

Table. 29 Design 1

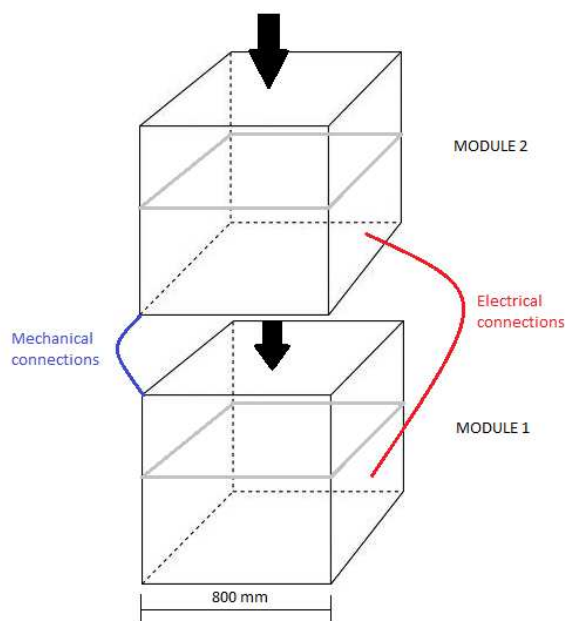


Fig. 114 Modular assembly

To sum up, combining the idea of multiple printers connected in serial and with a modular design based on a vertical pile of printers it is possible to get a tower of printers, with a really space efficiency, easy to carry and based on a typical printer.

Finally, this design is not going to be further developed on this project, but some of the ideas, criteria and conclusions are going to be used in order to improve the other selected design.

5.2 PROPOSED DESIGN 2

Based on “printrbot” distribution of the pieces, starting with the idea of “simple is better” but clarifying the fact that sometimes is important to expend something else in quality and reliability, here is going to be presented the main points of the design that later is going to be fully studied in this project.

The main technical advantage of this design will be the fact that only the header is in movement, instead the header and the bed. With this, there will be an energy saving on moving the bed (heavy compared with other parts, as shown in the previous chapters) but on the other hand a well carriage system has to be designed. For that, standardized profiled rails are going to be used.

Also one important requirement of this design is a good visual aspect, specifically related with an open working area, which allow more flexibility and a better handling of the printed parts. This fact in combination with the non moving bed gives to the design the possibility of for example work over the parts while it is still printing [38].

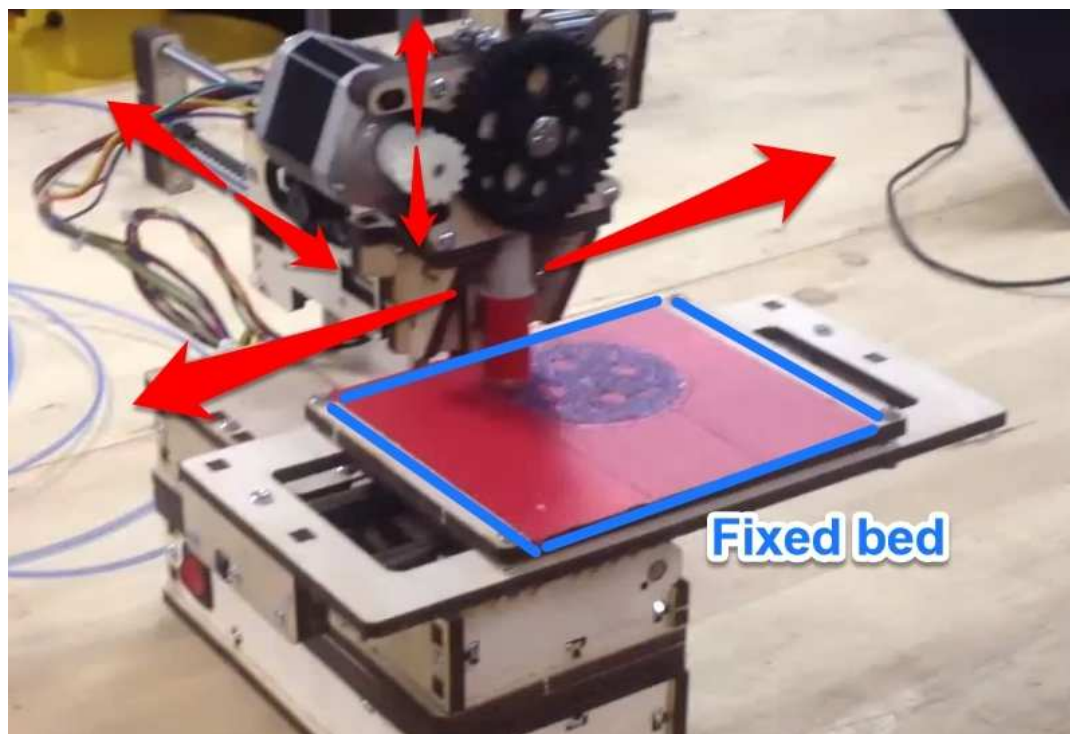


Fig. 115 Printrbot

Besides that, a properly balanced design of the nozzles position is important. Taking into consideration the available space, the most logical decision seems to be a linear distribution of four nozzles in the X-coordinate, as shown in the next draft:

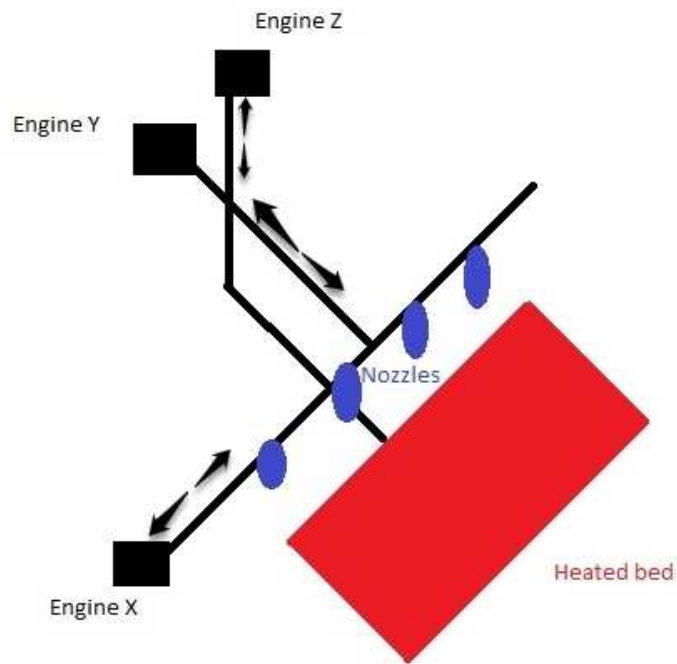


Fig. 116 Nozzles distribution sketch

The main concepts of this design could be summarized as:

Design 2	Reliable and wide working area
New idea	Extra advantage
Based on printrbot kinematics	Accessible working area. More efficiency and safety.
Reliability	Reliability
X linear nozzles	Balance and space efficiency
One extruder	Money saving
X-Y-Z linear profiled rails	Reliability and structural properties
Only moving header	Energy saving.
Not moving bed	No deformations during printing process
Screw drive for Z coordinate	Parallel with the Z profiled rail there will be a screw for driving the motion

Table. 30 Design 2

5.3 FINAL DECISION

After proposing the two designs, it has been decided to focus only in one choice which will be the “Second design”. This decision is made to get the best results and to be able to go into a deep study and real conclusions. However, the main concept of the “First design” which is the modularity is a really powerful idea which stays for future studies.

PART IV: CAD DESIGN

Chapter 6. Overview of the design process

After the conceptual part, the project goes deeply into the study of the selected design. During the next pages this design is going to be developed using SolidWorks¹⁰.

Like in most of the designing processes, few issues are going to turn up and the possible solutions and decisions will make sometimes a redundant routine with several iterations. In order to describe the system as clear as possible, the design is going to be divided into different milestones based on the main parts of the 3D printer. Furthermore, going into that, several points and conditions of the design are mentioned.

During the design process, solutions to the different processes will be proposed, and finally there will be a summary, by description or by a chart which shows the last decision. Sometimes this final decision might be presented along with several calculations in the needed cases which help to justify it.

Apart from all the previous information here comes a small image of the result of the first stage of the CAD design. This project can be read in different ways, for example from the beginning to the end or just checking some chapter to understand the design. For those who are reading this step by step this first picture will clarify a little bit how the printer should be and work. Of course this image must not be considered as a final result for anyone.

¹⁰ *SolidWorks is a 3D mechanical CAD (computer-aided design) program that runs on Microsoft Windows and is being developed by Dassault Systèmes SolidWorks Corp., a subsidiary of Dassault Systèmes, S. A. (Vélizy, France). SolidWorks is currently used by over 2 million engineers and designers at more than 165,000 companies worldwide. FY2011 revenue for SolidWorks was 483 million dollars. [Wikipedia]*

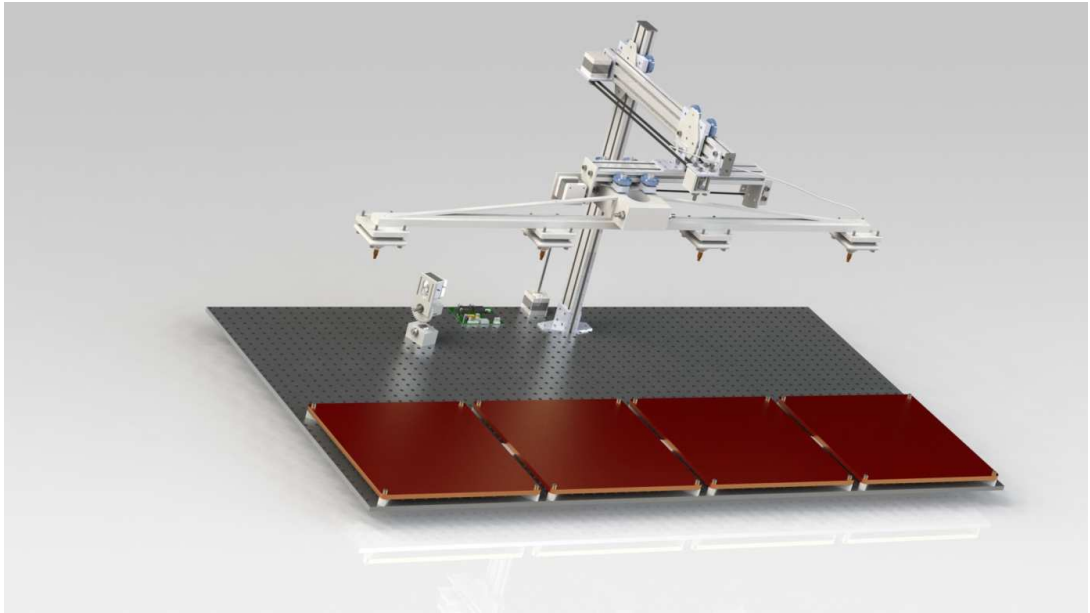


Fig. 117 First complete CAD model

6.1 SIZE LIMITATIONS

One of the limitations where is possible to optimize is on the size of the 3D printer. During the whole design, size has to be a keystone into the decision making. Furthermore this maximum size will be the reference for the rest of the pieces. Under the limitation inflicted by the maximum dimensions of the heated bed because of thermal dilatations and other issues (see 3.5.5) no printed piece can be bigger than this limit.

Besides that, the whole assembly of the printer should be handled and carried through a typical door of 800x2000 mm.

About the resulting pieces, this printer will be able to create items with a size about 290x290x500 mm. On the hobby 3D printer market, this printer can be considered as one of the biggest.

Chapter 7. Extruder and filament rolls

The extruder that this printer is going to use is a design between Wade's Extruder and Ed's Bowden extruder. In other words it will be a typical wade's extruder, but placed away of the header and delivering the filament by the use of a Bowden's cable.

7.1 STEPPER MOTOR

The first part to mention in an extruder is the stepper motor. Such motor provides the power which will move the filaments. The typical stepper motor is a Nema 17 (see bill of materials, item 6). This motor has the following properties:

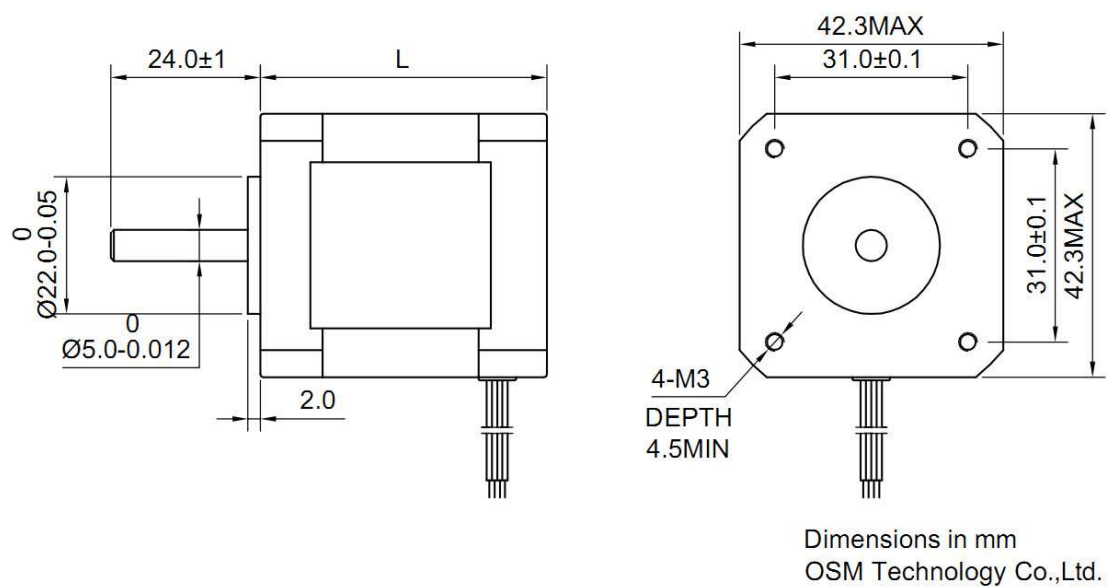


Fig. 118 Nema 17

Property	Unit	FL42STH47-1684A (4-wire)	FL42STH47-1206A (used in 4-wire mode)
Rated Voltage	V	2.8	
Current/Phase	A	1.68	
Resistance/Phase	Ω	1.65	
Inductance/Phase	mH	2.8	
Holding Torque	Kg-cm	4.4	
Number of Leads	g-cm2	4	
Rotor Inertia	g-cm2	68	
Weight	kg	0.35	
Detent Torque	g-cm	200	
Length	mm	48	

Table. 31 Nema 17 specifications

Item	Specifications
Step Angle	1.8 degree
Step Angle Accuracy	±5% (full step, no load)
Resistance Accuracy	±10%
Inductance Accuracy	±20%
Temperature Rise	80.C Max
Ambient Temperature	-20.C~+50.C
Insulation Resistance	100MΩMin. ,500VDC
Dielectric Strength	500VAC for one minute
Shaft Radial Play	0.02Max. (450 g-load)
Shaft Axial Play	0.08Max. (450 g-load)
Max. radial force	28N (20mm from flange)
Max. axial force	10N
Max speed	300 rpm

Table. 32 Nema 17 specifications 2

7.2 GEARED WHEELS

These wheels are also based on the typical ones from wade's extruder. The operating system of the extruder and the stepper motor has been explained before so here just come a few details of it. As mentioned the design will need two geared wheels able to transmit the movement from the shaft of the motor to the hobbed rod which is spinning against bearings and in contact with the filaments. These wheels can be easily printed in ABS. In this design these will be with the following aspect:



Fig. 119 Small gear

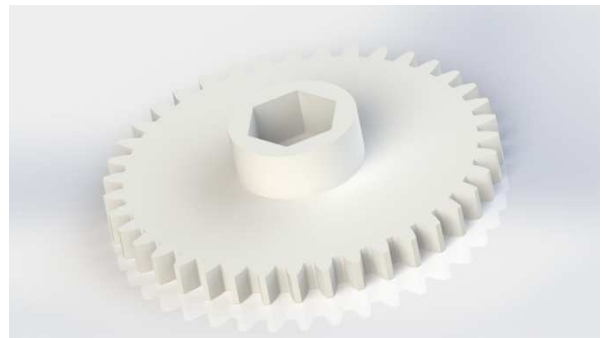


Fig. 120 Large gear

7.3 TORQUE CALCULATIONS

Besides all the properties, here turns up an important question: Will the torque of the motor or the transmission ratio be enough to move the filaments properly?

It is possible to check that the transmission ratio between each other gear is:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{11}{39} = 0.28205$$

Where Z_1 and Z_2 are the number of teeth of each wheel.

In this case it could be necessary to use a more powerful motor, but after some design iterations and considering that a reduction by gears is going to be used, the decision is to maintain the Nema 17. This decision is based on the volume of filament which has to be moved, which is succinctly calculated as:

Considering a radius of 0.875 mm, the design is using a Nema 17 which has an accuracy of 1.8 degrees each step. By the transmission ratio it means:

$$1.8 * 0.28205 = 0.50769 \frac{\text{degrees}}{\text{step}}$$

Assuming an average radius of 4 mm on the part of the hobbed rod where the filament contacts and adding the radius of the filament it is possible to assume a linear movement of:

$$2\pi r = 2\pi * 4.875 = 30.631 \frac{\text{mm}}{\text{turn}}$$

$$\frac{30.631}{360} * 0.50769 = 0.0432 \frac{\text{mm}}{\text{step}}$$

Now it is known the length that the filament should move each step.

Knowing that there are four filaments with a circular section of 1.75 mm of diameter it is possible to calculate now the volume of plastic moved by the motor each step

$$dVol_1 = Adl = \pi r^2 dl$$

$$dVol_{Total} = 4\pi r^2 dl$$

So now with all the data, substituting the differential of length for the linear movement of each step, the volume that the motor moves each step is

$$Vol_{Total} = 4\pi * 0.875^2 * 0.0432 = 0.4156 \text{ mm}^3/\text{step}$$

Taking into account the density of ABS which is

$$\rho = 1020 \text{ kg/m}^3$$

$$Mass = \frac{1020}{1000000000} * 0.4156 = 4.239 * 10^{-7} \text{ kg/step} = 4.239 * 10^{-4} \text{ g/step}$$

7.4 EXTRUSION SPEED LIMIT

One important restriction for printing speed, apart from the aforementioned like moving masses or accuracy, is the amount of filament that the extruder can move through the nozzle hole. Assuming a nozzle of 0.5 mm diameter and with all the previous data:

$$Vol_{Total} = 0.4156 \text{ mm}^3/\text{step}$$

is the volume extruded considering the four filaments. Each one has to go through a nozzle of 0.5 mm of diameter:

$$\frac{0.4156}{4 * \pi * 0.25^2} = 0.529 \text{ mm/step}$$

Assuming a maximum speed of 300 rpm for the motor:

$$\frac{300 * 360}{60} = 1800 \frac{\text{degrees}}{s} = \frac{1000 \text{ steps}}{s}$$

And by the transmission ratio:

$$1000 * 0.28205 = 282.05 \frac{\text{steps}}{s}$$

This means that the maximum extrusion speed per nozzle is:

$$0.529 * 282.05 = 149.25 \frac{\text{mm}}{s}$$

7.5 WHERE TO PLACE THE EXTRUDER

As explained, the extruder is going to deliver the filament by a Bowden's cable but anyways it is important to place the whole extruder mechanism properly in order to be space effective and avoid issues with the cable.

This cable has to be in constant movement so it could get entangles somewhere. For that it is important to place some fix points which conduct the filament somehow. In addition is important to consider and take care about the minimum radius that the fiber can twist on. This aspect of the design will stay out of this project but could be one of the future things to work on. Also, related with that it is important to place it where it is easy to connect with the motherboard of the controlling system.

Also the extruder should be placed and designed considering the orientation and position of the filament rolls, even more in this case where there are four different filaments.

7.6 EXTRUDER DESIGN SUMMARY

Here comes a small chart to summarize the main points and solutions of the design of the extruder


Requirement	Solution	Image
Structural Stability	Good design	
Stepper motor attachment	Bolts	
Four filaments delivery	Profiled rod	
Enough torque and accuracy	Geared wheels	

Fig. 121 Designed extruder

Table. 33 Extruder design summary

Chapter 8. Heated Bed

8.1 HEATED BED MAIN PARTS

From the articles and conditions of the desired design of the printer, it needs a heated bed. Taking into account the aforementioned problems of heated bed with dilatations and maximum size, four interconnected heated bed were the final decision. It means that some structure to joint and hold the four independent heated beds is needed. In other words, the two main parts are:

- a) Four identical heated beds.
- b) Heated beds connector

As said in the point 4.2, the best choice is to buy a standardized heated bed instead of creating one. In this case the selected is: see bill of materials, item num. 23.

8.2 HEATED BED CONNECTOR

For the heated beds connector starts a small design. The main requirements are the ability of holding the heated bed and to connect between each other and the base. In the decided design the bed are static so there is no need for any kinematic structure, but anyways it would be a good idea to keep in mind a possible connection to a profiled rail.

Also, in this part it is really important the conduction of the different materials. Since the bed is heated, there will be dilatations and thermal losses. These losses should be minimized with a good design.

However a good criterion for this part is, like always, try to make it easy to build, easy to assembly and also as lighter as possible.

8.3 DESIGN PROCESS

- a) After knowing the requirements, a sketch is made. It consists on a simple plain square of ABS and enough big to hold the heated bed.
- b) Then the design is lightered to get a slim structure.
- c) At this point, the design tries to reduce the mass of the piece, but of course considering the minimal requirements of stiffness. However, this part is going to be placed over the main base of the printer, so buckling is not a problem.

- d) As mentioned, the idea is to connect four heated beds, so for that the connector has to be a big structure. Since it is printed, no structure can be bigger than the size of the typical heated bed. That means one thing: connector will be made of two or more parts.
- e) Knowing that, the design is divided into parts and prepared for connection. Finally, the joint between different holders is made by using a simple M6 bolt.
- f) This joint it is not strictly necessary for the operating condition of the printer and it could be skipped over, because during the assembly you could just attach each bed supporter directly to the base; but on the other hand it has an advantage: By this connection, the distance and relative position between each bed is always the same, so there is no need for extra calibration. It also is based on the idea of a possible modular design, where you could attach even more heated beds if it is necessary.
- g) A hole on each corner will allow the assembly with the beds and the base. For this, a standardized M6 bolt is enough.
- h) Assembly of each plate and to the base.

As aforementioned, the bed should be heated, which means an energy cost. It is important to minimize this cost by a good design free of unnecessary thermal losses. For that, the attachment of the heated bed to the frame will be made by a long bolt and leaving some free space on it, in order that the bolt absorbs the possible deformations and thermal energy, avoiding that the heated bed bends.



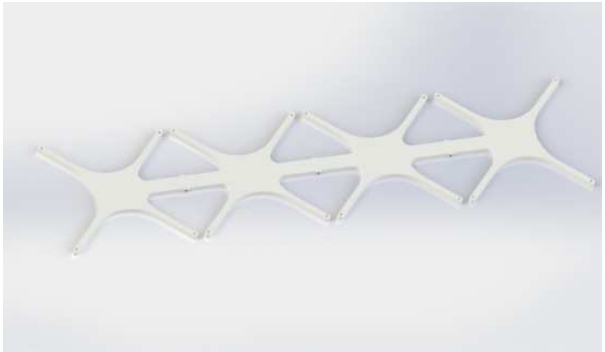
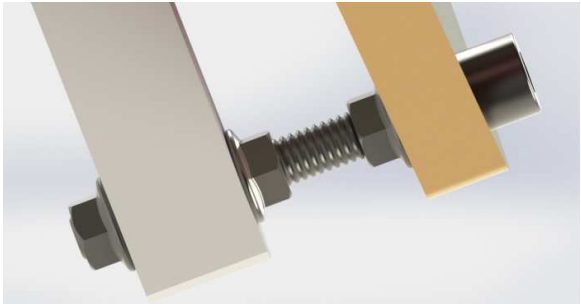
The assembly will consist of a rod firstly going through the bed, and then a nut to fix the bed. After that, there is some free space, then another nut and finally the bed holder with the last nut. This whole structure can be easily placed over the base.

Other advantage of this assembly is that it allows a small calibration. By acting on the nuts it is possible to raise the height of the table.



Fig. 122 Bed's screws

8.4 DESIGN SUMMARY

Requirement	Solution	Image
Stable and light structure	Plain and simple	 <p>Fig. 123 Bed</p>
Big structure	Joint between each holder. Modular.	 <p>Fig. 124 Bed holder's connection</p>
Connection to the beds	Four M6 bolts on each corner	 <p>Fig. 125 Bed's holder</p>
Height calibration Thermal efficiency	Well designed bolt assembly	 <p>Fig. 126 Height calibration</p>

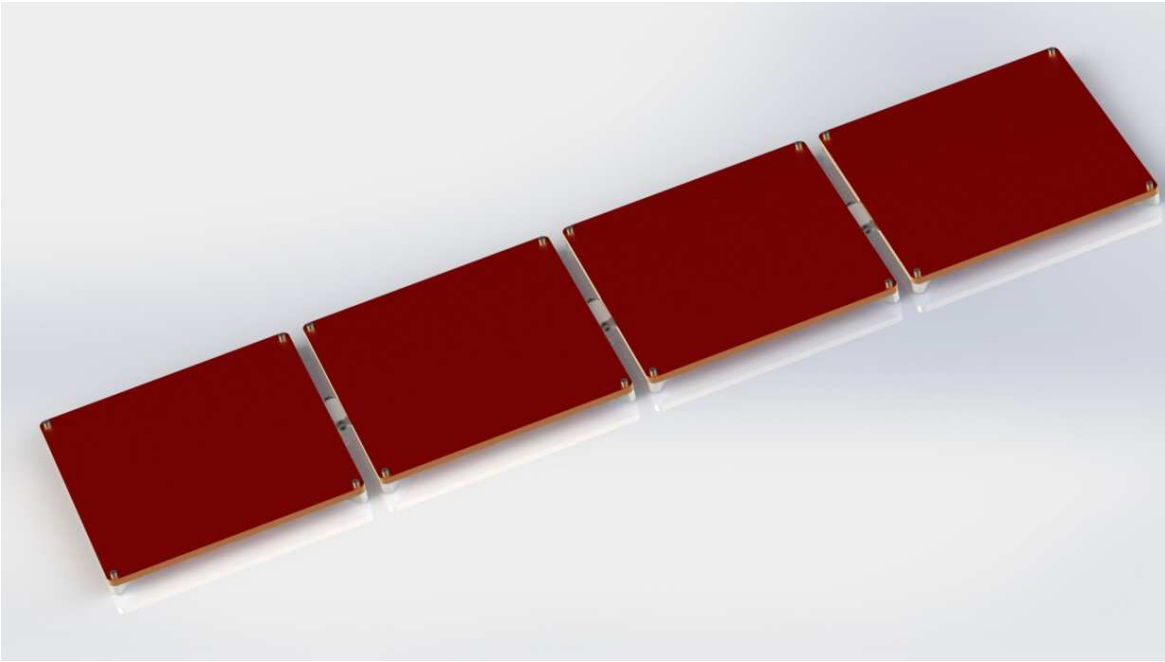


Fig. 127 Final Heated Bed

Table. 34 Heated bed’s design summary

Chapter 9. Header and nozzles holder

9.1 GENERAL CONSIDERATIONS

This is one of the most important parts of this project because it really sets the difference with other 3D printers. At the moment that the decision of using **one moving header**, able to hold **four nozzles**, was taken, the basic idea of this part was set.

The second main point of this part has been also mentioned before: **vibrations**.

With these two main points in mind here comes several design decisions:

As said, the linear distribution of the nozzles on the X coordinate could be less space efficiency but provides a really open workspace. On this printer the comfort of this open workspace is more valued than only the space efficiency because it is one of the main competitive advantages. This makes the requirement of a big nozzles holder.

As shown in the point 6.1, a size of

$$300 * 4 = 1200 \text{ mm}$$

for the printing space is needed. This could be reached by a nozzles holder made of a bought material and assembled, but continuing with the idea of make the printer as much self-replicant as possible; and like it happened with the heated bed connector, the decision is to make it by assembling two or more ABS pieces.

Another possible solution was the use of one header, but consisting of two or more parts and also using **more than one carriage** to be connected to the profiled rail. This reduces the possible vibrations of the header itself, because the weight is divided into a bigger number of points and hanging parts are decreased; but on

the other hand this is translated into a longer profiled rail, because the carriages have to sledge over more space. This finally means vibrations in the rail so the result is not better.

After all, and once the assembly started, the design was rethought again to reduce even more the weight, so unnecessary parts were removed. Finally after the mechanical testing (see point 9.2.4) the decision was to change the material into aluminum to reduce the deformation.

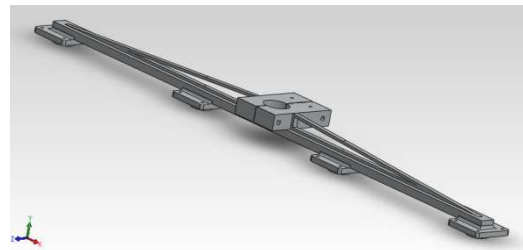


Fig. 128 Header Sketch

9.2 MECHANICAL TESTING

During the former design process it has been possible to see that this is an important part of the printer. Even more, is the one which is in care about holding the nozzle. This nozzle has to have really accurate movements so no big vibrations are allowed into the header. Furthermore nozzles are made of brass and other relatively heavy materials which could be an extra reason for buckling. Also the design is trying to do the header as lighter as possible, so playing with these limits are dangerous. For that here come some mechanical checking made by SolidWorks.

This is the first mechanical calculation, so the whole process will be fully detailed. For next calculations these explanations will be omitted. Anyways, it is possible to find all the information, properly detailed in the annex of Mechanical calculations.

9.2.1 Selecting the piece of study

First of all, it is important to define properly which piece will be the object of the study. In this case, it will be one of the halves of the header. Also before it was indicated which kind of material is it.

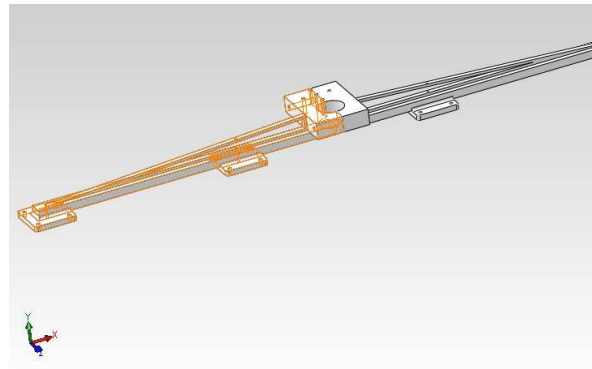


Fig. 129 Selecting the piece

9.2.2 Restrictions of movement

Now the software asks for the fixed points. Marked will be the drilled holes and also the side wall, because the piece can be considered as symmetric. Also the holes which connect both symmetric parts are important and will be considered as fixed because the stiffness of the stainless steel is much higher than the ABS.

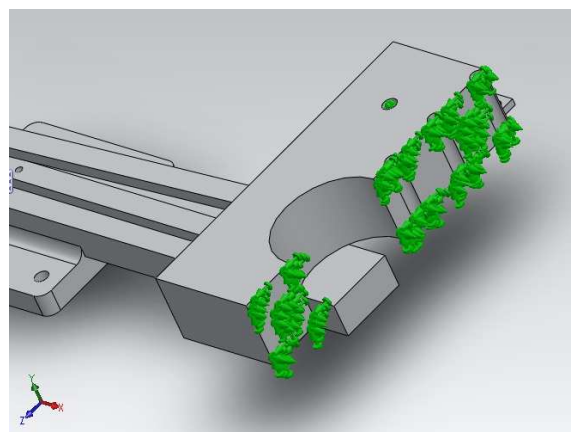


Fig. 130 Fixtures

9.2.3 External Forces

Based on the calculated weight of the nozzles the main force to input should be the gravity. Also, it is important to remember that the printer will be on movement, so there will be some accelerations. These accelerations will also act as forces, in this case especially when the printer moves into Z coordinate. Other accelerations can be ignored now.

Assuming 80 grams of weight for each nozzle and applying a factor of 1.25 for the acceleration, the input for each one will be

$$\frac{100}{1000} * 9.8 = 0.98 \text{ N}$$

So the input will be 1N per nozzle.

However, after some studies the final decision is not to consider the acceleration factor anymore on further calculations, because it is small enough compared with the weight of the different pieces.

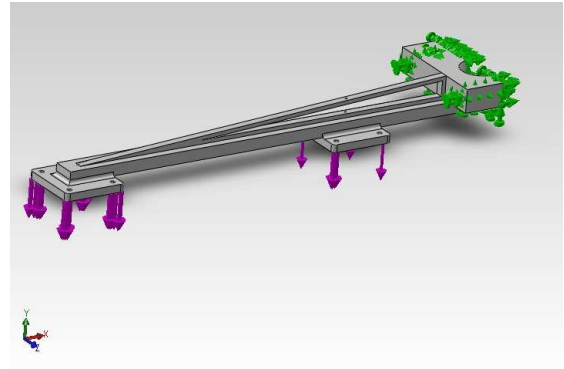


Fig. 131 Forces

Furthermore it is important to mention than the critical deflection for the nozzle into the vertical coordinate will be **0.05 mm**. All values over that will mean a non functional printer.

For other pieces this deformation could be considered also as the maximum unless certain considerations change it on each case.

9.2.4 Results of the simulation

Here the program output two important results: Von Mises's tension and the Deformation.

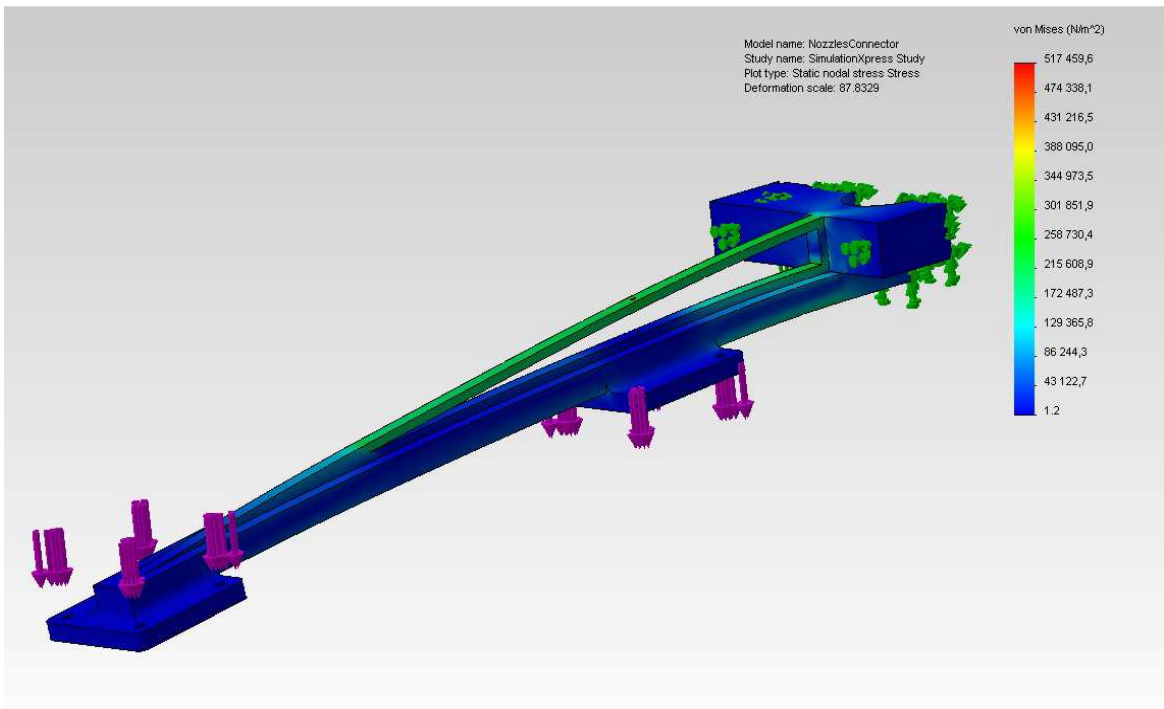


Fig. 132 Von-Mises results

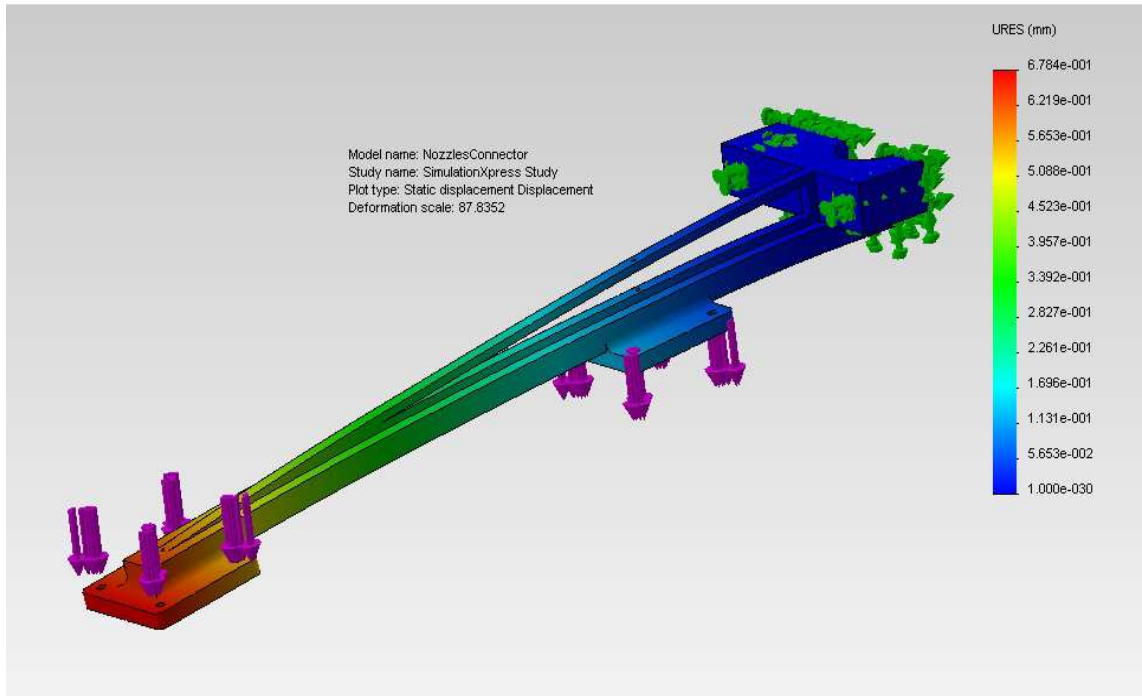


Fig. 133 Deformation

It is possible to check that the tensions are not critical, but the deflection is about 0.72 mm. This deflection exceeds the maximum established, so the design must be optimized.

For that, here comes an iteration of these calculations. The design of the header will be enlightened a little bit more, especially around the central part and then it will be checked again. In addition, it is necessary to include some other modifications to reduce the deformation and increase the stiffness of the arm.

After trying some designs, specially modifying the cross section and increasing the angle of the support bar, the results of the calculations were almost the same: only a little reduction of the deflection, but not enough to be lower than 0.05 mm. Also the ideas of adding an extra piece or a steel rod inside were discarded.

The final solution was to change the material of this header. The decision after several considerations was to use an aluminum alloy. Of course this means an important cost increase and also the need of manufacture this piece somehow, with different techniques. With this material, the results were:

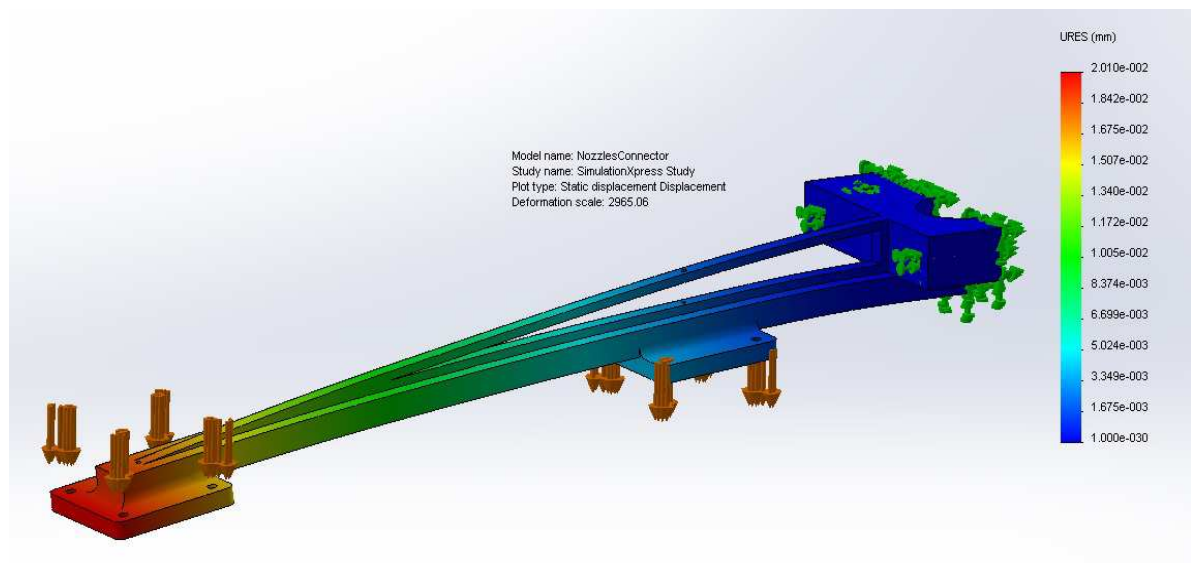
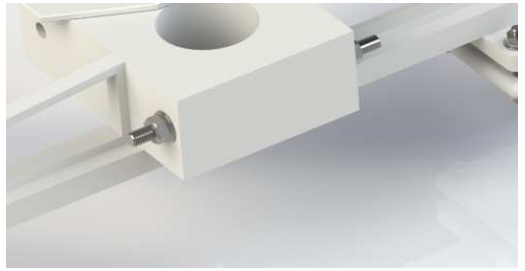


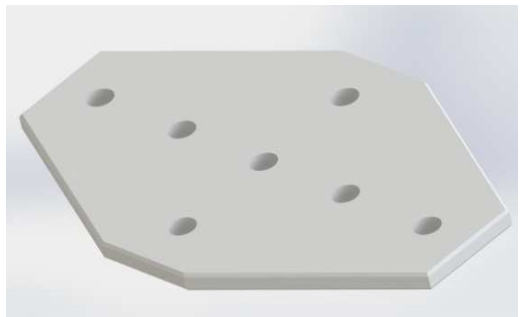


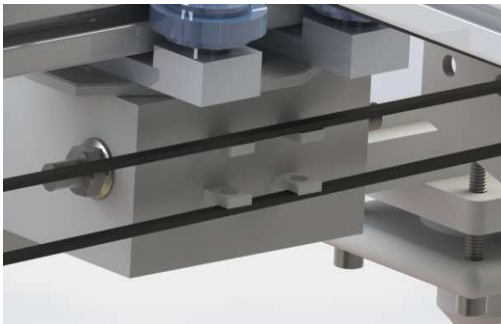
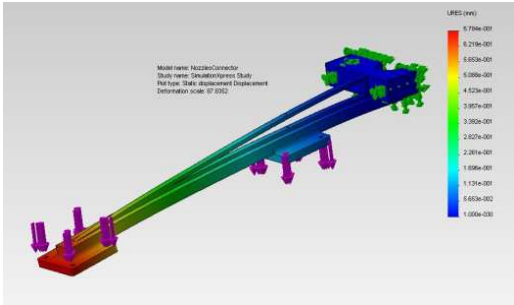

Fig. 134 Aluminum header

It is possible to check now that the deformation is only 0.02 mm in the worst case. With these results it is possible to conclude that the design is stiff enough and no critical vibrations will happen.

9.3 HEADER DESIGN SUMMARY

Following the same way of thinking that with other pieces, here comes a small summary of the design process

Requirement	Solution	Image
Width structure	Two or more pieces joined	 <p>Fig. 135 Header joint</p>
Light but stable	Removed material and nerves	 <p>Fig. 136 Header's nervs</p>
Connection to the nozzle	Four M6 bolts on each nozzle	 <p>Fig. 137 Nozzle connection</p>
Filament delivery to the nozzle	Small holes for the fiber	
Connection with the kinematic system	Printed standardized 80/20 piece attached to the wheels system	 <p>Fig. 138 Carriage connection</p>

Connection with the moving belt	Male part and bolt through the belt	 <p>Fig. 139 Belt connection</p>
No vibrations	Mechanical testing New material Aluminum	 <p>Fig. 140 Header's mechanical testing</p>
 <p>Fig. 141 Final header</p> <p>Fig. 142 Header Design summary</p>		

Chapter 10. Nozzles

10.1 GENERAL CONSIDERATIONS

As seen, there are a lot of possible improvements on the field of nozzles, but these are not the main goal of this project. Furthermore this design does not have special requirements for nozzles apart from good stability and to be much lighter as possible. Besides that no extra fans, insulator or special holders are going to be used.

The nozzle for this design can be bought to some supplier via internet as for example the one which is shown on point 19 of the bill of materials, and for the CAD design a regular model of brass is going to be used.

Only one curiosity to mention is that in this design the nozzles are interchangeable between each other (for example in the case of using different colors, if the nozzle has some blurs) and also are easy to replace. For that, those are going to be connected by four bolts to each head of the nozzle holder.

The design is also made to leave a small gap between the nozzle and the nozzle holder to avoid thermal distortion.

Furthermore, by easy calculations using the physical properties calculator of SolidWorks it is possible to assume a weight of the whole nozzle set about 80 grams. This value is used for the mechanical calculations of different pieces as header and the whole arm.

10.2 DESIGN SUMMARY

Requirement	Solution	Image
Basic nozzle design	Brass made nozzle	 Fig. 143 Brass made nozzle

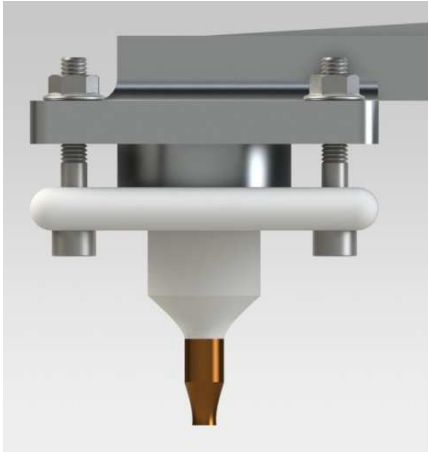
Connection to the holder	Four bolts each nozzle	
No thermal deformations	Small gap	
Easy to replace	Standardized and easy to access bolts	

Fig. 144 Nozzle connection

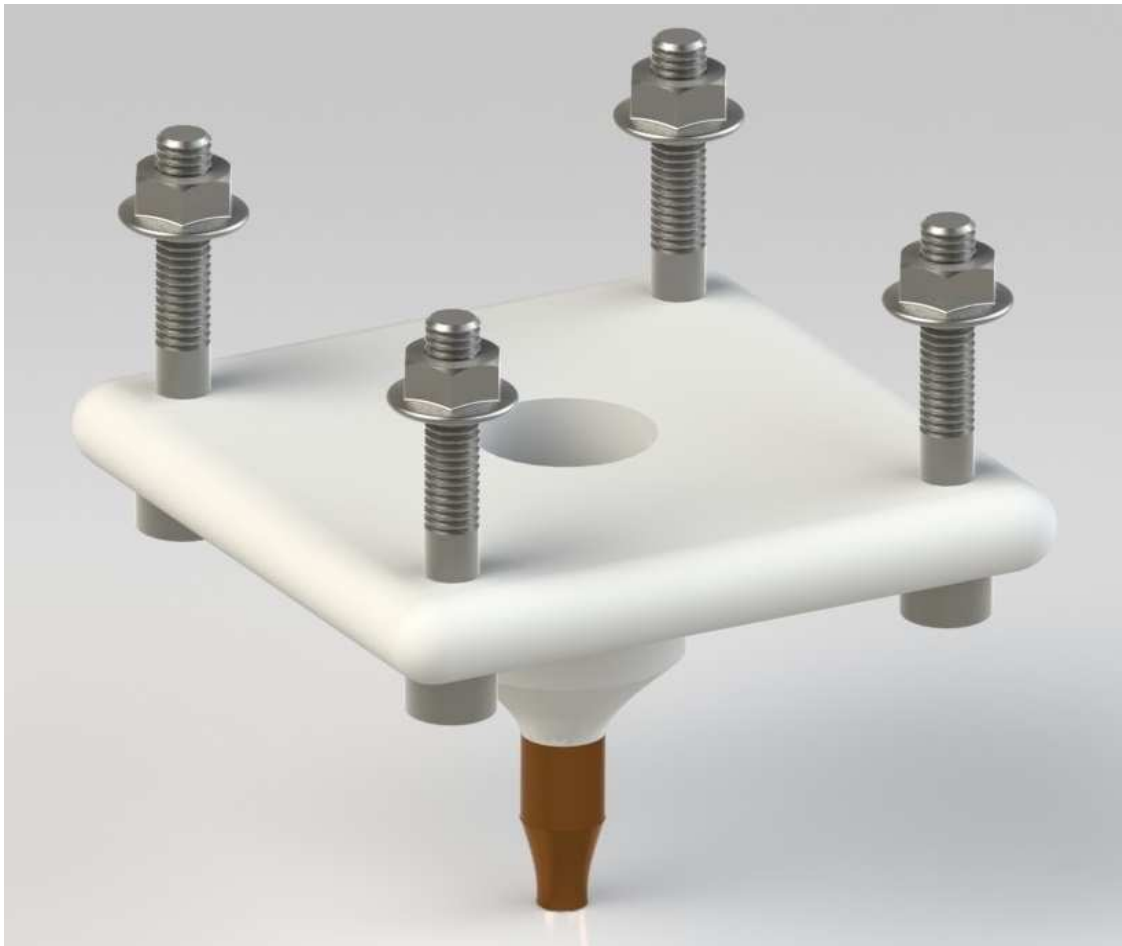


Fig. 145 Final nozzle

Table. 35 Nozzle’s design summary

Chapter 11. Profiled rails

11.1 GENERAL CONSIDERATIONS

There is a huge market of profiled rails, with different kinds of sizes and materials. These systems are becoming more popular because the flexibility and reliability that they provide. Also nowadays some people like to build their own designs, which is really easy with all the equipment that these enterprises supply. The following picture gives some of the typical examples of the main brands.

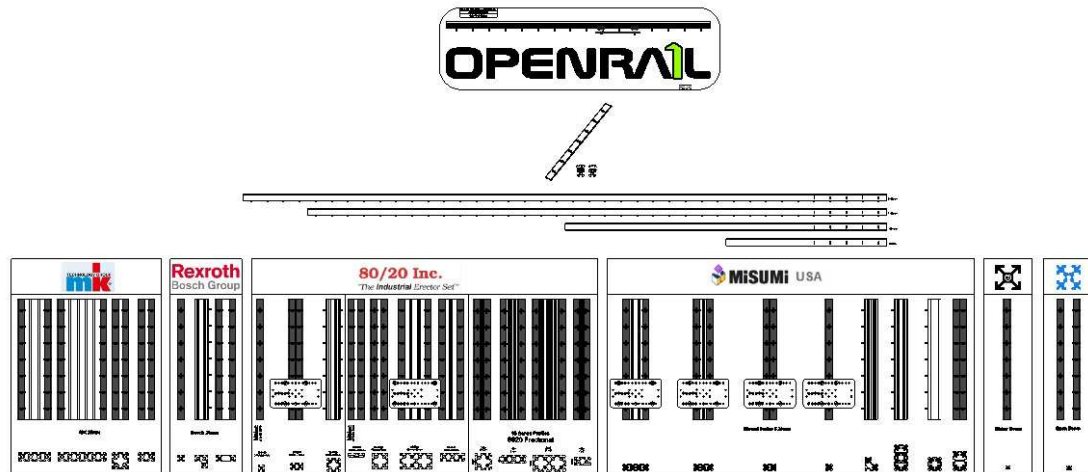


Fig. 146 Profiled rails

As shown, all these brands provides a standardized sizes and also all the related equipment as connectors, carriages, etc.

For this entire project the selected profile is from the brand 80/20 Inc. and in particular the type "Metric 25 series". The decision of this brand is mainly made because in their website they provide a lot of services for customer, as CAD models, video explanation and also a program for calculating buckling and vibrations. Also the prices seems to be quite good comparing with other brands.



Fig. 148 Open rails



Fig. 147 Metric 25 profiled rail

25 Series Profiles

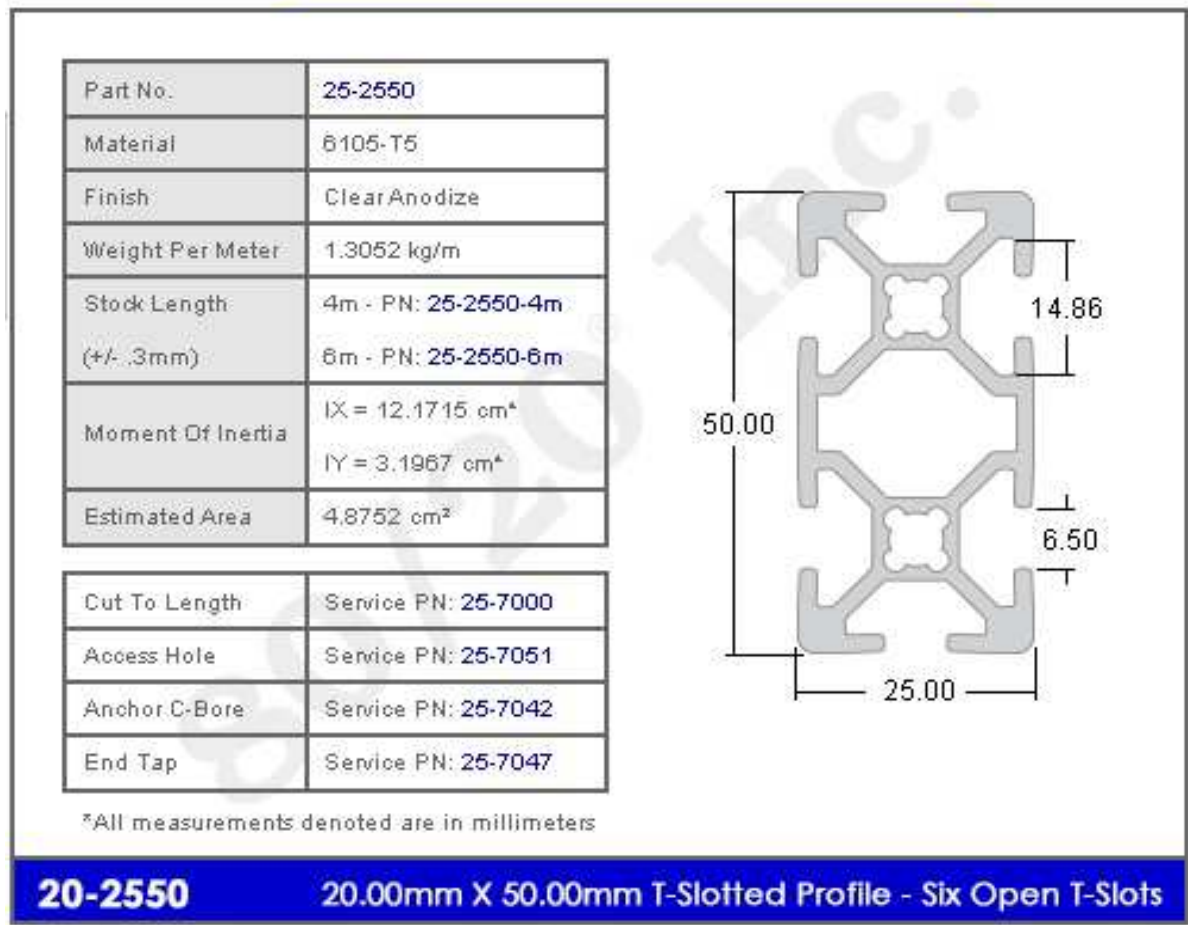


Fig. 149 80/20 Series 25

In the following pages the design of the movement into the different coordinates is explained. Each coordinate has different properties as for example requirements in accuracy or torque. In this project the X coordinate is the lightest (the motor does not have to carry with other profiled rails, only with the header) but on the other hand it has to move precisely.

The whole design could be included in a workspace where several mechanical properties can be assumed. For example, there will not be problems with traction, yield strength, hysteresis, thermal dilatations, or even torsion stresses, but these problems might appear locally, especially in the connections or joints between different rails. For that, the global design has been made trying to balance all the strengths as much as possible and avoid unnecessary movements.

11.2 MOVEMENT ON X COORDINATE

11.2.1 General overview

Once the general ideas of the kinematics and disposition of the pieces have been decided, it is time to go deeply to the study of certain details. However, once the movement is a requirement, the different pieces become harder to design.

It is clear that the movement is based on profiled rails and carriages, but **how to place these carriages? How to connect one rail with another? How to hold the whole structure?**

11.2.2 Length of the rail

First of all it is possible to assume a length of 400 mm. The heated bed is 350 mm width so this should be the minimum length, but also some extra space is needed in order to place the stepper motor, the joints, and extra pieces. However, the idea is to try to minimize this length which translates into a mass reduction, but finally and with some iterations on the CAD design, the selected length is **500 mm**.

Also, each rail includes a rubber bump acting as a top end to avoid collisions and other issues. These stops also can be substituted for electric top-ends, connected to the mother board. Those are able to detect when something hits they and can act into the stepper motor controller in consequence (stopping the alimentation).

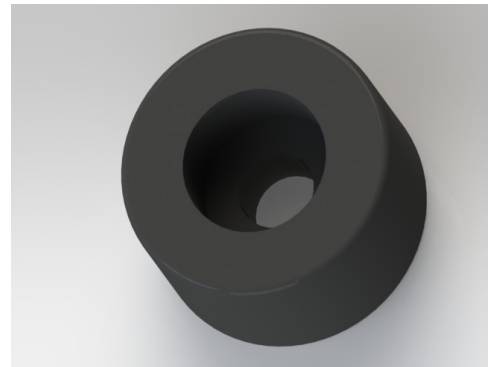


Fig. 150 Rubber bump

11.2.3 Carriage system and connection

On the bottom side of the rail, the carriage with the nozzles holder is going to be attached. This carriage can move over almost all the rail until certain limits on the sides (made by t-nuts drilled on the rail and some endings).

For this coordinate the carriage is made by a pair of pieces, with two wheels each one and connected by a piece which design is standardized by 80/20 (but in this case is going to be printed, so it is lighter and cheaper). It could be possible to use more wheels or even two different carriages connected somehow (as for example the alternative explained on chapter 9.1), but those ideas do not provide any significative advantage which could worth the extra requirement of pieces.

The X-coordinate rail has to be fixed somehow to a carriage which slides over the Y-coordinate profile. There were some interesting ideas as for example pieces printed with ABS which could provide any design, but on the other hand these pieces were not stiff enough. The final decision was to use a standardized piece from the brand 80/20 specially designed for these profiles. This piece is cheap and made of stainless steel, which provides the desired mechanical properties.



Fig. 151 Profiled rail connector

11.2.4 Placing the fixation

The formerly showed fixation should be placed properly. Probably the first idea is just to put it in the middle of the X-rail, but the best option is to place it a little bit off center in order to play with the mass center of the piece. It is possible to use SolidWorks for these calculations, but indeed the easiest way to do it is when the printer is assembled. This piece is attached to the rail with bolts and t-nuts that can slide over it so a proper balance can be reached.

11.2.5 Mechanical test of the carriage connector

After the last paragraph now comes the mechanical test for the carriage connector. This piece has been shown in Fig. 151 Profiled rail connector, and mainly the test focus is in showing that it will not bend so much. The input weight will be the calculated for the set header plus nozzles and increased for security margin.

$$\frac{2600}{1000} * 9.8 = 25.48 \text{ N}$$

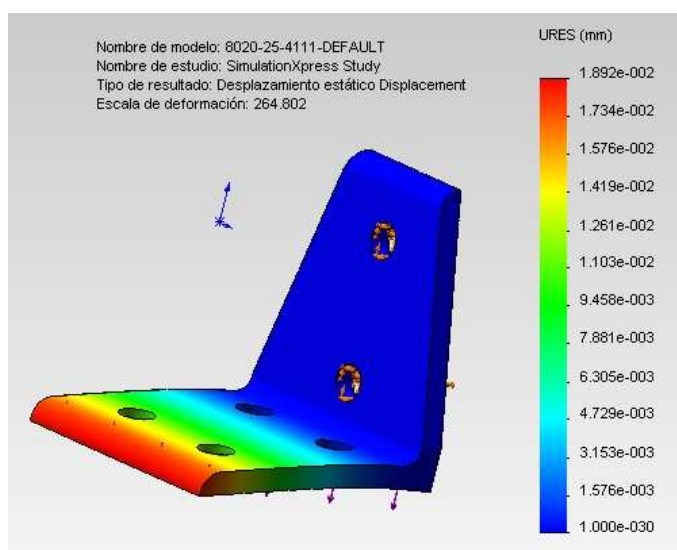


Fig. 152 Connector displacements

The displacements are:

These are lower than 0.05 mm so the design is good. Also further details can be found into the document of the annex.

11.2.6 Transmission of the movement

The design is based on a belt system for the movement, so there will not be any extra change on that, but now it is important to think where to place this belt and the related stepper motor. There are different ways and positions.

With the motor on the bottom side of the profile: This disposition has some extra advantages about the stability and vibrations of the motor, which are reduced, but on the other hand in this position the motor is using some length of the rail where the carriage cannot slide anymore. This translates into a longer rail which finally means more weight and deflection.



Fig. 153 Standard Belt

The shaft of the motor should be orientated over Y coordinate or over X coordinate. The last choice, which could be to orientate it on Z coordinate, might be interesting but indeed it would be really difficult to move the belt without any collision with the nozzles holder or the Y profiled rail.

The final decision is to place the stepper motor on the side of the rail. This means an important weight on the end of the rail which is bad for deflection, but on the other hand with this disposition the rail is shorter. Furthermore the transmission of the movement is made by a simple belt connected with the nozzles holder.

11.2.7 Belt system

For the explained movement, there will be a bearing with a screw to tension the belt, mainly moving the bearing over the coordinate and also tightening up the belt to the header. Here again could be different options and orientations of the belt. Finally, a printed part made of ABS with the mentioned bearing and placed on the opposite side of the profiled rail is the chosen option. This piece is easy to assemble and with some adjustment can be properly placed and hold the necessary tension of the belt.

However, after some design overview is possible to check that piece, which has to hold the stepper motor could suffer critical tensions or deformations. For that, here again comes a mechanical test.

11.2.8 Mechanical test of the X motor-belt holder

This is the analysis of the motor holder. Stepper motor is hanged by this piece, so the first force will be the gravity affecting to the motor. Also, this piece has to be in a little

tension with the belt, so this will be the second force, in the X coordinate. The detailed calculation is in the annex.

The results are really good. About the security factor there is no problem (this is the first time than it could be a real problem, because all the forces are affecting and

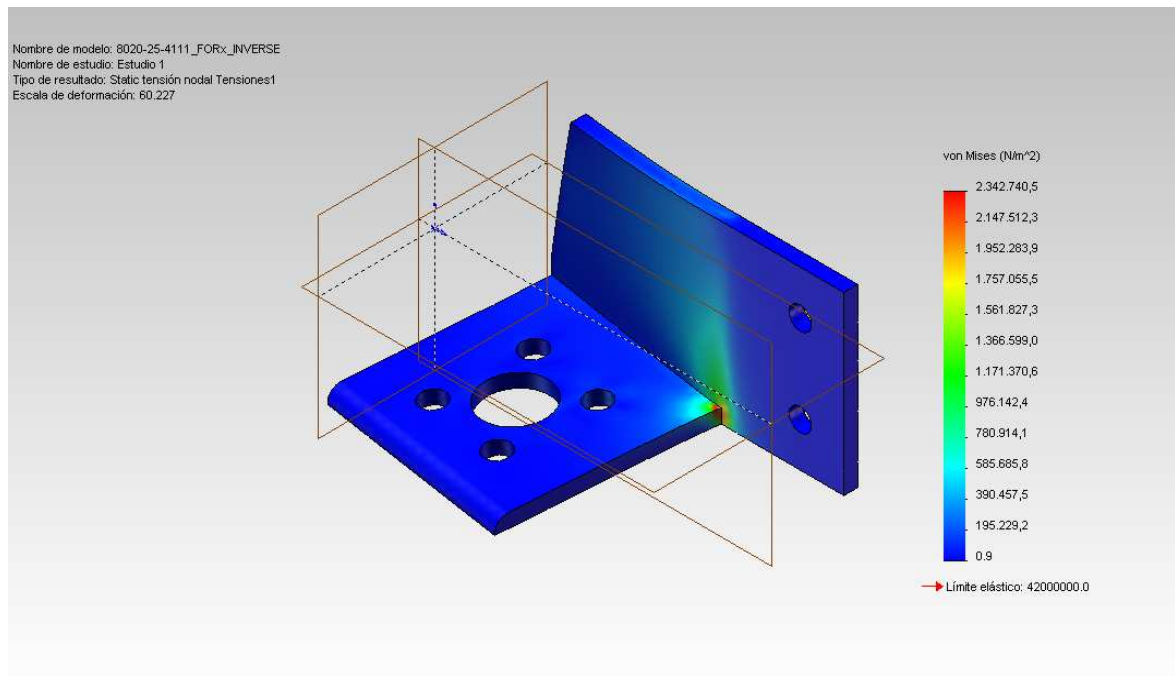


Fig. 154 Von Mises Z motor holder

concentrated in only one point), but indeed the result is a factor of 17 in the worst case.

On the other hand the deformation is higher than in other pieces, about 0.2 mm. This deformation do not affect directly to the position of the nozzle, so it could be higher. This value of 0.2 mm is admissible.

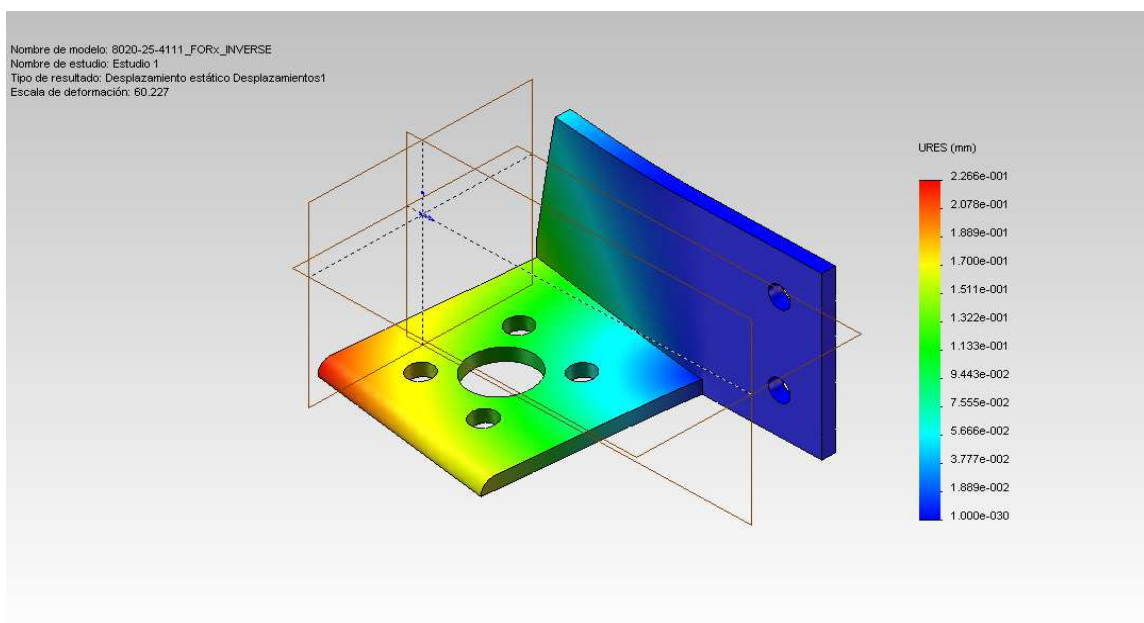


Fig. 155 Deformation X motor holder

11.2.9 DESIGN SUMMARY OF X COORDINATE

Requirement	Solution	Image
Stable Rail	500 mm 80/20 profiled rail	 Fig. 156 Profiled Rail
Connection with header	Standardized carriage by 80/20	 Fig. 157 Carriage
Movement across the coordinate		 Fig. 158 Belt and bearing

	Stepper motor	 <p>Fig. 159 Stepper and belt</p>
Connection to Y coordinate	Small holes for the fiber. Properly balanced place.	 <p>Fig. 160 Arm connector</p>
Movement limitations	Rubber top ends	 <p>Fig. 161 Rubber bump</p>

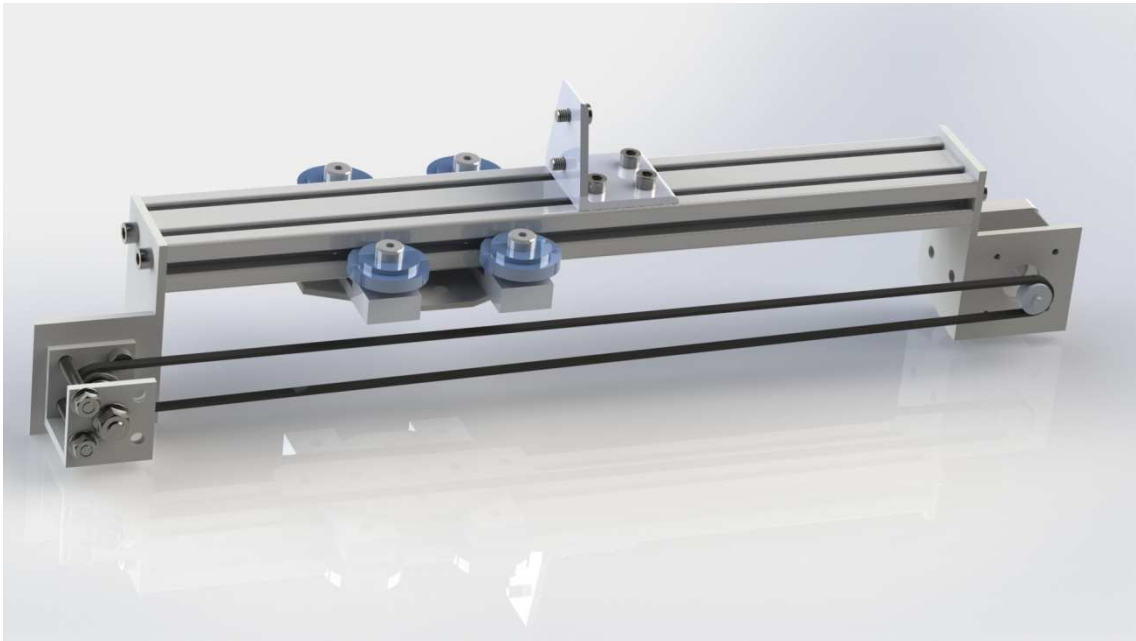


Fig. 162 Final X-Rail

Table. 36 Design summary of X coordinate

11.3 MOVEMENT ON Y COORDINATE

11.3.1 General Overview

About this axis here come several explanations and details about the design, but keeping in mind that all the basics are the same that in the X-coordinate.

11.3.2 Length of the Y profile

Following the same argument that with the X coordinate, it is possible to assume a length of 600 mm which provides enough space for the movement of the carriage and also it is the shortest trying to reduce unnecessary masses.

In this case the movement it is also reflected into a carriage sliding over the rail. This carriage is build by two standardized pair of wheels and also connected by a printed part.

As happened with X coordinate, here again some top ends will be placed.

11.3.3 Connecting different arms

Like in X coordinate, this profiled rail has to be connected somehow to another rail in order to move over Z-coordinate. In this case the design became a little bit harder comparing with the previous one, because the different orientations of the rails made it difficult to fit. As mentioned before, the design tries to give the maximum movement with the smallest and shortest rail, so these connections should be well designed in order to use the minimum space over the rail.

First of all, the design were made for connect only the Y-coordinate rail with the Z-coordinate rail by a drilled piece which is joined to a carriage that slides over the Z-rail. But after that, it was possible to see that the design was not stable enough. This problem is going to be show in later points of this project by proper calculations, but however, the final decision was to attach an extra rail for Z-coordinate on the other side.

11.3.4 Placing the arm

Also, once again it is important to fix the piece which connects both profiles in a proper place in order to get a good balance and also seize to the maximum the usability of the rail.

Stepper motor: In this case the motor can be placed directly over the sliding rail of the profile because two main reasons:

The connection with the Z-coordinate uses some space of the rail in one side, this means that the carriage cannot roll over it, so it can be used without consequences over the other face. A similar thing happens on the other extreme of the rail. The nozzles holder is a little bit eccentric and projecting so the carriage cannot roll until the edge of the rail or otherwise it could hit the Z-coordinate rail.

About the orientation of the shaft, in this case it can be placed vertically using the same belt system that with X axis. The attachment of the belt to the carriage is made by to printed parts connected also to the piece which holds the X-axis.

11.3.5 Stability of the arm

Apart from the Z axis system, which will be explained in the next chapter, it is possible to remind how is the general design of the printer going. For that, here is a second overview of the CAD model fully assembled.

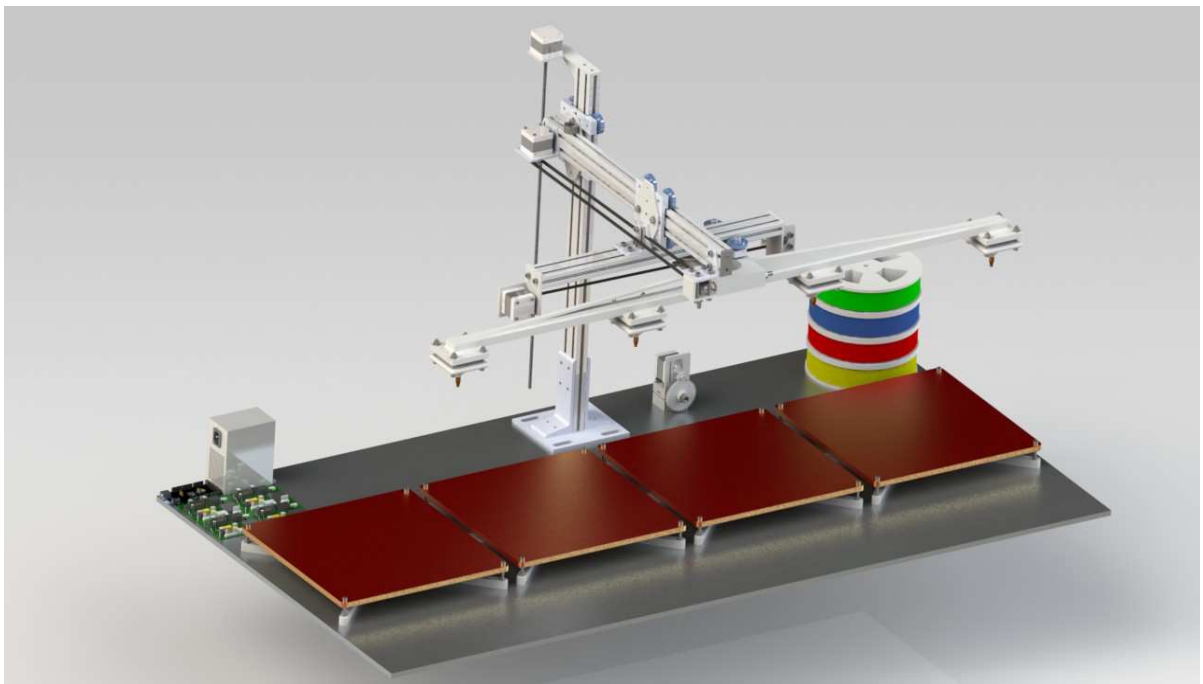


Fig. 163 CAD model overview 2

Just knowing now some of the weights as for example the header or nozzle, and realizing that all these masses are hanging from the Y axis arm, appears the idea of instability. Probably the whole header system is too heavy and the arm will bend.

Again, by using Solidworks, and by the bill of materials it is possible to assume a good approximation of the mass that the arm has to support. With that calculated mass,

there will be a mechanical simulation to check if the displacement of the cantilever is high or low.

11.3.6 Mechanical Testing

Basically, the idea is to simulate the worst situation. For that, the fixations will be totally placed in one side of the rail and all the force, equivalent to the action of gravity will be on the other side. It would be a good approximation because in the real case the forces are near one to each other but on the other hand other efforts appear.

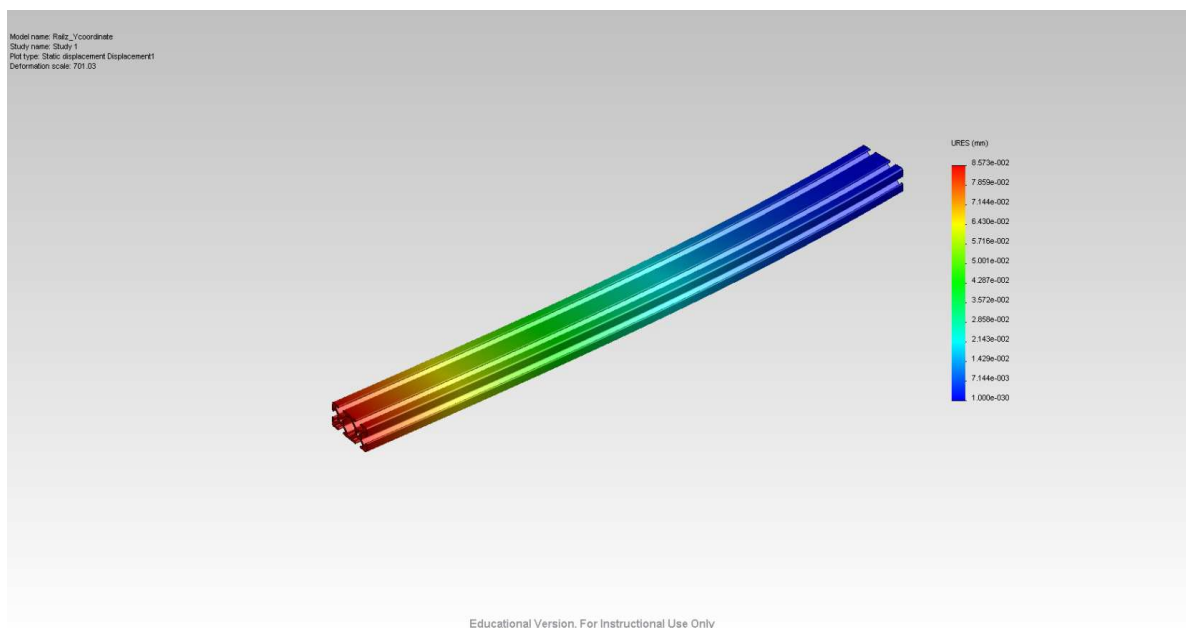




Fig. 164 Y mechanical test

Like other mechanical tests, this is explained deeply into the annex, but however, the result is a deformation higher than 0.05 mm. To solve that, and avoid any other vibrations, the decision is to add an extra column into the opposite side. This eliminates the cantilever.

11.3.7 DESIGN SUMMARY OF Y COORDINATE

Requirement	Solution	Image
Stable Rail	500 mm 80/20 profiled rail	 <div>Fig. 165 Profiled rail</div>
	Movement across the coordinate	 <div>Fig. 166 Y movement</div>


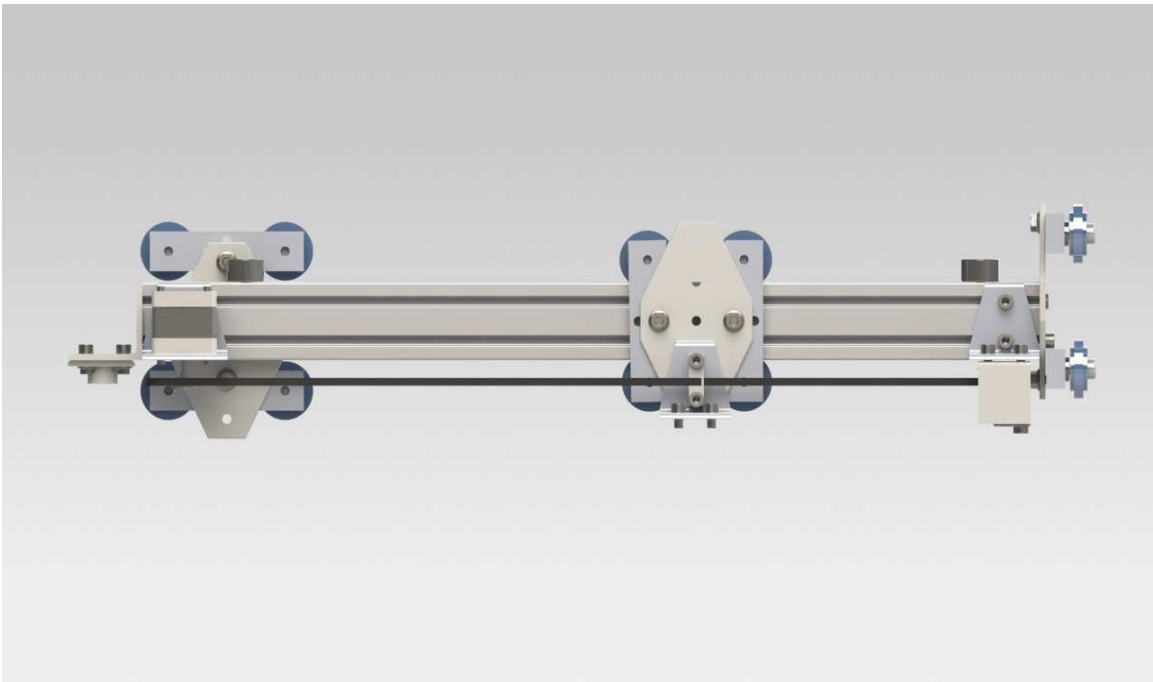
Structural stability	Two almost symmetrical columns	 <p>Fig. 167 Dual columns</p>
 <p>Fig. 168 Final Y</p>		

Table. 37 Design summary of Y coordinate

11.4 MOVEMENT ON Z COORDINATE

11.4.1 General considerations

The motion over this coordinate has been an interesting point during the whole design. As mentioned in the Part 1 where the main stages and aspects of the design were defined, especially the use of screw driving, instead of other kind of system with belts or winches. But when the real implementation of the ideas comes, it appears a lot of unexpected issues: vibrations, buckling, difficulties placing the stepper motor, etc.

About the remaining kinematics of this Z-coordinate, the movement is quite similar to the X and Y systems where the carriage is sledging over the profiled rail and also attached to other arm and the motion system.

11.4.2 Placing the stepper motors

About the motors, there are a few differences and properties to consider. The design starts with simple ideas: Placing a stepper motor, vertically attached to the base, with the shaft pointing up and connected to a screw which turns, like the usual design. This screw has to be connected to a nut fixed to the part which should be raised, so the screw were placed parallel to the Z profile and with a simple part attached to the Y-Carriage. It seems to be a fully working design, but then it is possible to see that with this system the nut attached to the horizontal will only stay on the piece only while the arm goes down, because in other cases the nut can jump out of the hole.

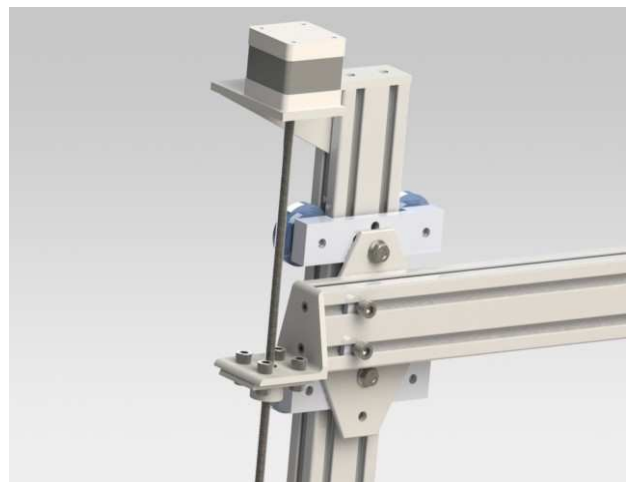


Fig. 169 Screw driving

For this problem the solution were to switch the orientation of the nut and his holder. In this position it will not fall and also will work while the arm goes up.



Fig. 170 Nut's place

The second problem is about the screw itself. It is true that the whole design of the printer is light but anyways it is too much for only one thin screw. It is slender and with this configuration there are risk of buckling and also eventually lock the mechanism.

A good solution for this is just similar with the former case. If the stepper motor is on the top of the Z profiled rail the whole arm is suspended, affecting only with tension and no compression to the screw. This means no buckling problem.

The solution adopted in the former paragraph has a drawback. Now it is necessary to place the stepper motor on the top, which in this 3D printer could be a problem because there are as less as possible upper frames or places where to join it. In other words, now a new piece is required for that.

11.4.3 Stepper Motor Holder

This piece should be able to hold the stepper motor properly but also be prepared for all the strength that it has to support, which is almost the weight of two arms. A first design for this piece was made, resulting on Fig. 171. This piece will have to support a big weight to raise up the whole arm without bending so the next milestone is the mechanical testing.



Fig. 171 Z Motor holder

11.4.4 Mechanical Testing of Z motor holder

Going into a deep analysis and by SolidWorks's simulation add-in, it is possible to see that the deformation and Von-Mises tensions are more than expected and there are some bendings. As shown in the next picture deformation is too high. It is necessary to

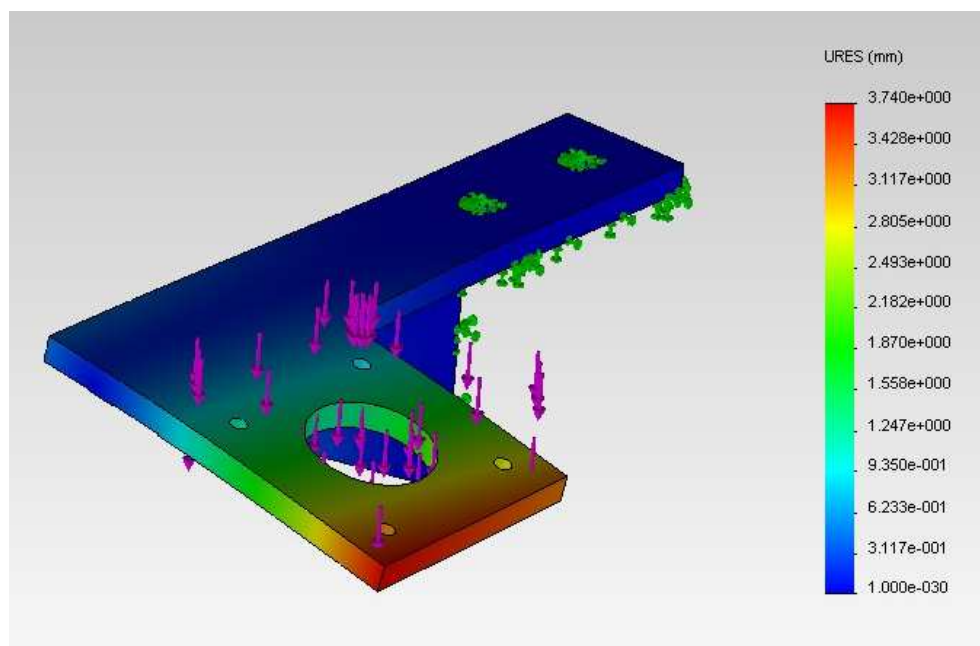


Fig. 172 Z motor holder deformation 1

optimize the design.

After several iterations, the design finally achieves an assumable low deflection, as shown in the next figure.

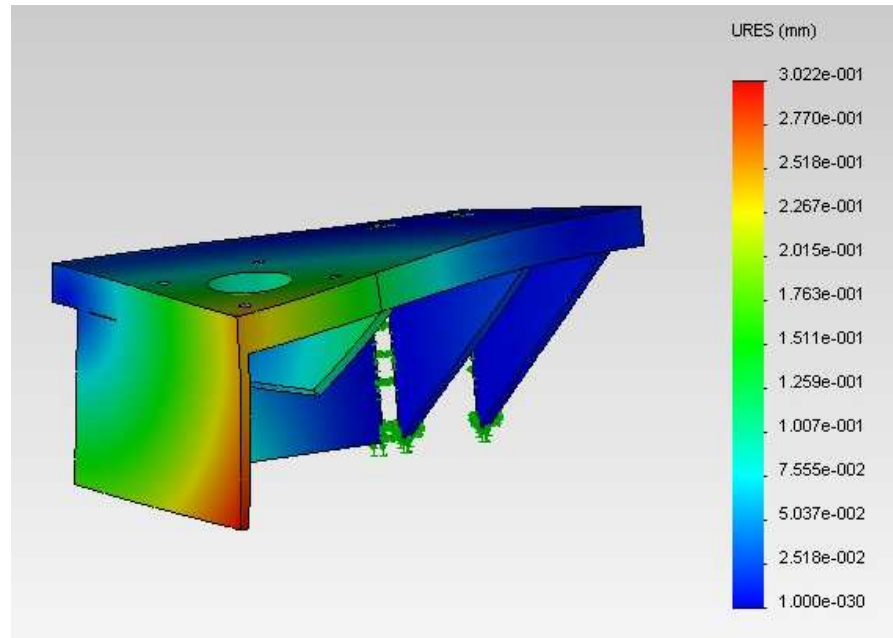


Fig. 173 Z Motor holder 2

It is possible to see that the deformation is higher than 0.05 mm but on the other hand the screw will hold part of this deflection, so it is assumable. For further details see the annex.

11.4.5 Fixation of the base

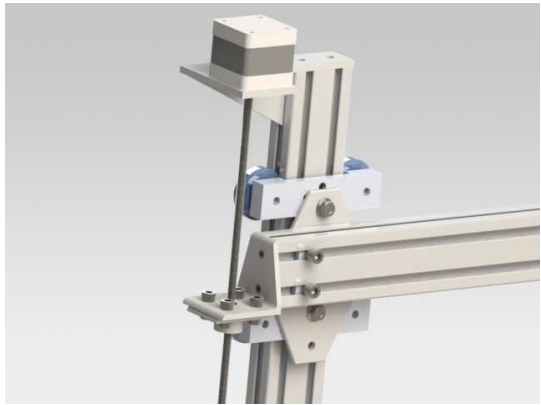

About the fixation of the base, at the beginning the decision was to use the same piece which was used for connecting the arms to the carriages (See point 11.2.3 Carriage system and connection)

After the first implementation of this piece into the CAD design it was quite easy to check that it was not stiff enough.

To solve this, a lot of possibilities were considered but finally, the decision was to use a standardized piece of 80/20 Inc. which fits properly with the profiled rail and is totally designed for a good fixation. Also this piece is cheap, and with a simple design.

11.4.6 DESIGN SUMMARY OF Z COORDINATE

After adding an extra column, the disposition of the stepper motor should be reconsidered and also the chance of installing a gear for reduction or a second stepper motor over the other column in order to get enough torque. Finally this last option is the chosen one because it provides a more balanced strength distribution and also it gives a better security factor.

Requirement	Solution	Image
Movement across the coordinate Connection to Y coordinate	Standardized carriage by 80/20 Bolts to the carriage	 <p>Fig. 174 Z movement system</p>
Driving for the movement	Nema 17 stepper motor and holder	 <p>Fig. 176 Z Arm</p>  <p>Fig. 175 Z motor holder</p>

	Screw driver properly placed	 <p>Fig. 177 Screw receptor</p>
Connection to the base	Standardized piece by 80/20	 <p>Fig. 178 Standardized base attachment</p>



Fig. 179 Final Z

Table. 38 Design summary of Z coordinate

Chapter 12. Structural calculations by Toolbox

12.1 THE USE OF TOOLBOX

After the complete definition of the printer by the CAD model, here follows a succinct analysis of the possible vibrations, deflection and buckling. There have been a short analysis for each interesting or critical part, but however as iteration, here comes as an extra study. Basically, this chapter is only focused into the profiled rails, especially about the Y one.

For studying this, different software called “TechToolkit” is going to be used. This software is provided by the company 80/20 Inc. itself. It can be found in their webpage and it is a powerful tool for ensure that the whole structure will not break or collapse [39].

Mainly this chapter of the project can be considered as an example, for future works and to know how to check the results. Also this last mechanical testing is apart from the previous made because it will be considered like a security check, instead of being part of the design process itself. Of course, both tests are totally related between each other and only with good profiled rails the printer cannot work if other parts break.

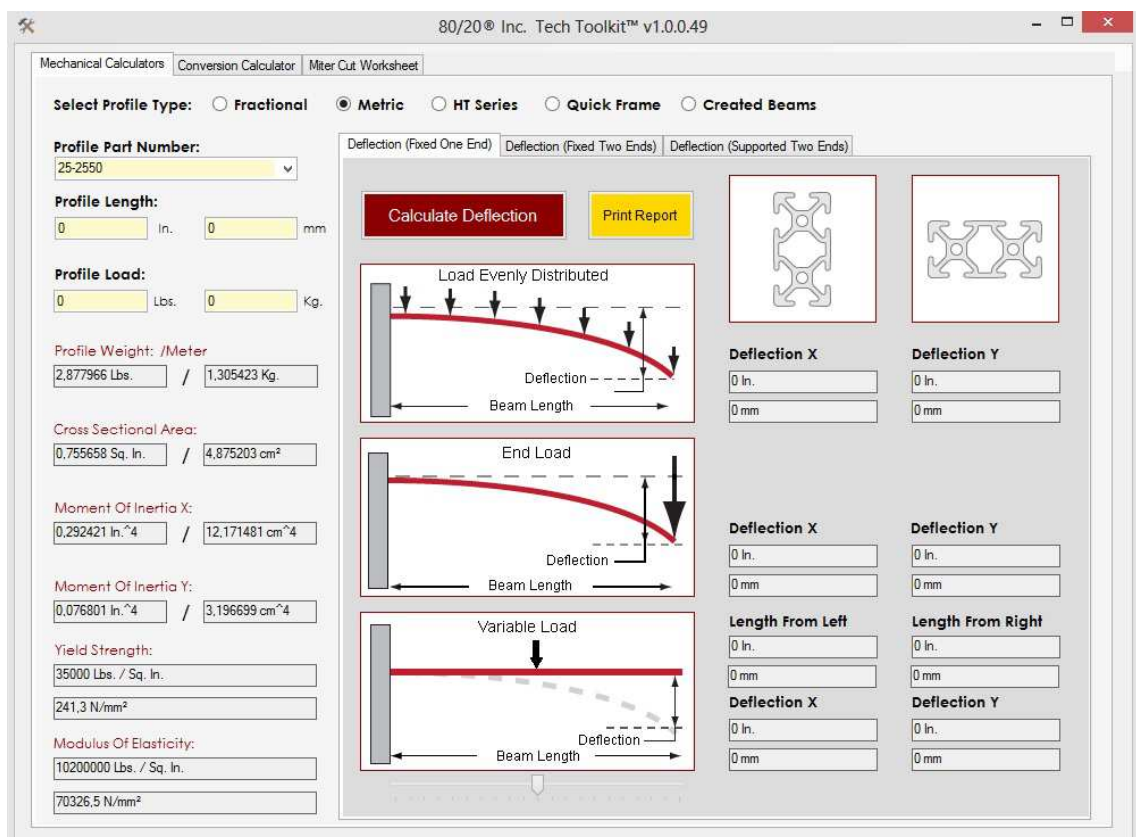


Fig. 180 80/20 Toolbox

As shown in the Fig. 180 80/20 Toolbox, with this program, by the input of several data as for example length or loaded mass it gives calculations for deflection and other properties.

The best way to get the more precise results is using all the existing tools in this project. In other words, going back to the 3D CAD design, and setting properly, piece by piece the material, SolidWorks will give the mass of each part. Indeed, it provides, when all the data is correct, a useful bill of materials and pieces.

12.2 THE MECHANICAL TEST

- First of all, designer should select the type of profile which is studying. In this case, Metric, and especially 25-2550.
- After this, select the deflection method by considering the way that fixtures are working: In this case, two fixed ends.
- Set the profile length: 600 mm
- The idea of this experiment is calculate the maximum load that this profile could support without deflect more than 0.05 mm.
- The value to check is the “Deflection X” because of the disposition of the rail.
- For that, some values will be introduced into the “Profile Load” until reach 0.05 mm on “Deflection X” for centered load.
- **The maximum load is 38 Kg**

Select Profile Type: ☐ Fractional ☒ Metric ☐ HT Series ☐ Quick Frame ☐ Created Beams

Profile Part Number: 25-2550

Profile Length: 23.62 In. 600 mm

Profile Load: 83.79 Lbs. **38 Kg.**

Profile Weight: /Meter **INPUT**
2.877966 Lbs. / 1.305423 Kg.

Cross Sectional Area: 0.755658 Sq. In. / 4.875203 cm²

Moment Of Inertia X: 0.292421 In.⁴ / 12.171481 cm⁴

Moment Of Inertia Y: 0.076801 In.⁴ / 3.196699 cm⁴

Yield Strength: 35000 Lbs. / Sq. In. 241.3 N/mm²

Modulus Of Elasticity: 10200000 Lbs. / Sq. In. 70326.5 N/mm²

Deflection (Fixed One End) Deflection (Fixed Two Ends) Deflection (Supported Two Ends)

Calculate Deflection **Print Report**

Load Evenly Distributed

Deflection X: 0.001 In. 0.0253 mm

Deflection Y: 0.0038 In. 0.0964 mm

Load Centered

Deflection X: 0.002 In. **0.0498 mm**

Deflection Y: 0.0075 In. 0.1897 mm

Variable Load

Length From Left: 11.81 In. 299.974 mm

Length From Right: 11.81 In. 299.974 mm

Deflection X: 0.002 In. 0.0498 mm

Deflection Y: 0.0075 In. 0.1872 mm

Fig. 181 Toolbox results

PART V: CONCLUSIONS

Chapter 13. Results

The result of this project could be summarized as an almost ready to work 3D printer. Of course, knowing that this project is academically orientated, there are some aspects of the design that have not been completely developed, in order to embrace a wide range of solutions.

The project starts with a clear objective: Design and build up a 3D printer which has to be able to create several objects simultaneously. For that, at the **PART I** is possible to find a good background about 3D printers, touching themes like history, the current market and advantages or disadvantages of 3D printer.

After this, in the **PART II** there is a general overview of a 3D printer. This helps to settle all the bases for the new design concepts. With these bases, and knowing the most typical issues and possible improvements during the design of a 3D printer, **PART III** concludes showing the two most interesting concept designs to study.

Finally, in **PART IV**, after choosing a design, this one is fully developed, by the CAD model and explained with detail. This part is the one which really took almost all the time of the project. To reach a detailed model and with all the kinematics working properly is sometimes hard and time consuming. On the other hand, the study of this model gives really accurate results and is a powerful tool for all designer because shows the real problems.

Furthermore, this project is not focused into an exact result as for example a calculation. The project is **the whole design process and all the decisions and discernment** which have conducted to the final model, and of course also the model itself.

Besides, all of this means that is really hard to sum up only explaining by text, because one of the most important parts, as said is the whole CAD design, which is made to work over it and play with the movements and the assembly of different pieces. Anyways, in order to explain here into the best possible manner the model, during the whole summary of the project there are several pictures and sketches.

Also, apart from the aforementioned ideas, and also focused into the academic orientation of this project, this document attach several annexes with different information, as the detailed mechanical analysis, the definition of the different parts from catalogues or the plans of some interesting parts. Especially this last annex is remarkable because it is the only way to transmit properly how the designed pieces are without the use of the CAD model.

Furthermore it is important to mention everything related with the project organization and time management: Is possible to find a succinct project's budget and some organization charts as for example a Gantt diagram.

In addition, and to sum up the next figure could be presented as the final result of the CAD model. However, the next two chapters resume the technical contributions of the project and finally some ideas for future works.

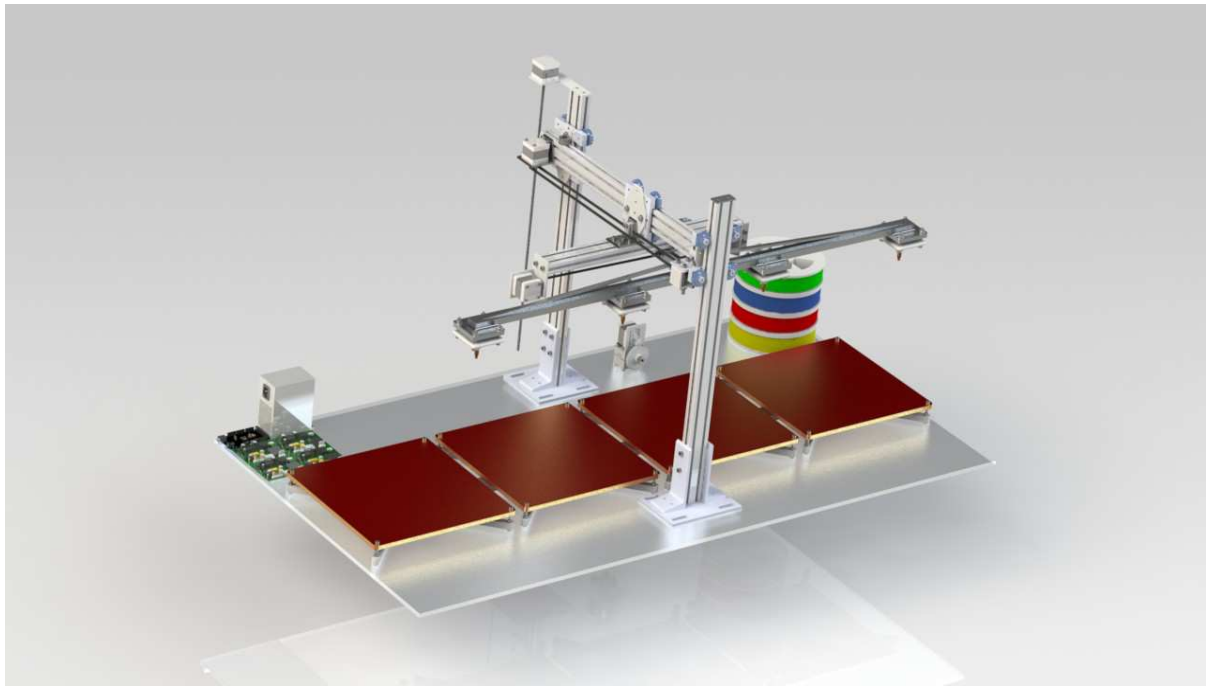


Fig. 182 Final CAD 1

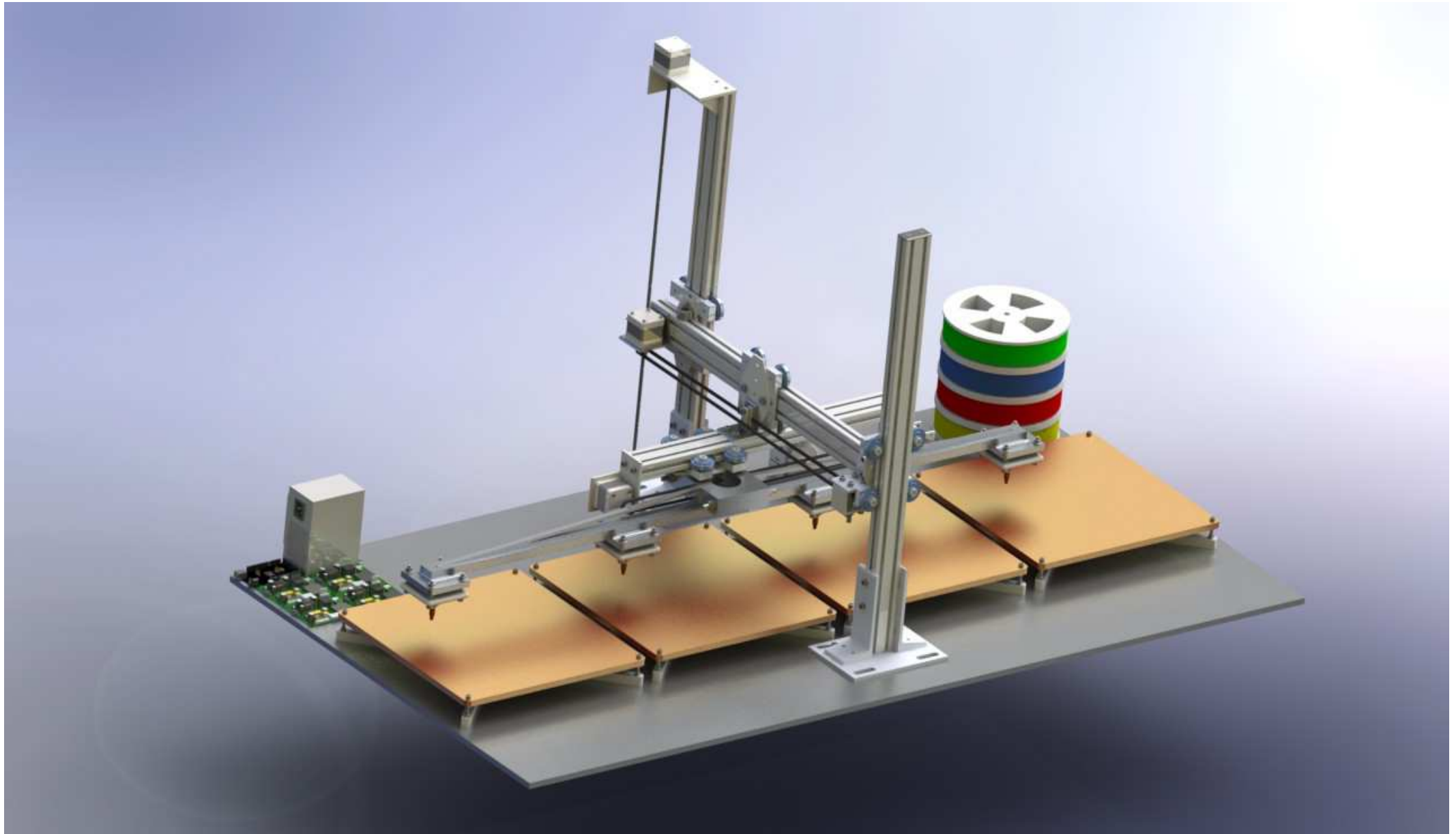


Fig. 183 Final CAD 2

Chapter 14. Technical contributions of the project

Here is a short summary of some of the contributions of this project to the whole 3D printing technologies scenario:

- a) The complete CAD model. It allows future designs to begin from this model instead of starting from zero. In addition, the CAD model includes the use of all the tools of SolidWorks and other related CAD software.
- b) The mechanical analysis of different parts. These analyses provide a good base to ensure that the design is reliable.
- c) The definition of the critical parts. There are parts which have more importance for the structural design and some other are important just for the kinematics but the efforts that these have to support are not relevant
- d) Comparison tables with factors. These tables could be used for other designer to compare similar designs but with different detailed properties.
- e) Background and analysis of different parts. These chapters are a good summary for everybody who wants a general and easy overview of 3D printing technologies.
- f) The main ideas of the disposition of the nozzles.
- g) The different issues found during the definition of kinematics and all the related solutions.
- h) The cost and weight calculations, useful for anyone who wants to define the basics of new models and decide between different distributions.
- i) The bill of materials, which in only a few pages summarize all the parts of the printer, specifying the material, price and in any cases giving some references.

Chapter 15. Future works

As other academically-oriented projects, this one has the advantage of embracing a wide range of topics and points of view but on the other hand some of these topics are not fully studied or remains for future studies.

One good example for future work is the design presented on Chapter 5.1 PROPOSED DESIGN 1, mainly focused into a modular system. This basic idea could be more than enough to develop a complete project like this.

In addition there are some other aspects of this project which could be farther developed:

- a) Mechanical testing: The different mechanical tests could go deeply and be even more precise, considering a lot of different situations of charges and fixtures.
- b) Basic distribution of the arms and nozzles: This could be maybe one of the most subjective part of the design. It would be really interesting to try with more dispositions and check the different advantages of each one.
- c) The materials: Different pieces are made by different materials. In this project mainly the idea is to use ABS whenever is possible but this has an important drawback in mechanical properties. Future studies could work in this field, by selecting other materials to some pieces.
- d) Profiled rails and belts system: This also opens a wide range of options where is possible to decide and try new designs.
- e) Electrical wiring: This is also a really interesting topic to each printer. Of course the basic structure and all the kinematics are important, but sometimes several issues may turn up when doing all the electrical connections. Cables may interrupt the movement over some pieces, tangle or get unplugged.
- f) Filament delivery: similar than the electrical wiring, the delivery of the plastic fiber could be a source of significant problems. This issue has been studied a little and explained the main solution of placing some fix points and the nylon tube, but it could be studied better by designing all this wires by CAD.
- g) The use of delta robot for kinematics.
- h) Other heat sources or even other type of printers, like laser printing.
- i) Writing a complete assembly manual and with plans and instructions.

ANEXO I: LISTA DE MATERIALES

Num.	Name	Quantity	Belong to	Material	Weight (g)	Price (per unit) (€)	Reference
10	Base	1	Heated Bed	AISI 316 SS	96000		
11	Geared Shaft	2	Motor	ABS	1,3905		
12	Hexagon Flange Nut ISO - 4161 - M6 - N	43	Mix	Stainles Steel			
13	Hexagon Flange Nut ISO - 4161 - M8 - N	9	Mix	Stainles Steel			
14	Hexagon Flange Nut ISO - 4161 - M5 - N	52	Mix	Stainles Steel			
15	Nema17	4	Mix	-	73	15	http://goo.gl/Pb7t7
16	Endcap	2	Profiled Rails	ABS	3,45		80/20
17	DIN 625 - 608 - 8,SI,NC,8_68	6	Mix	Stainles Steel			
18	Connector	1	Profiled Rails	-	15,23		80/20
19	Geared Shaft	1	Motor	ABS	17,2		
20	ISO 4015 - M8 x 60 x 22-N	1	Mix	Stainles Steel			
21	ISO 4015 - M8 x 50 x 22-N	1	Mix	Stainles Steel			
22	ISO 4015 - M8 x 70 x 70-N	1	Mix	Stainles Steel			
23	Washer ISO 7090 - 8	5	Mix	Stainles Steel			
24	Carriage's wheels	8	Profiled Rails	Stainles Steel	121,82		80/20
25	X Rail	1	Profiled Rails	Stainles Steel	242,75		80/20
26	8020-25-4135	4	Profiled Rails	ABS	27,03		80/20
27	NozzlesConnector	1	Header	Aleación 1060	3379,7		
28	nozzle	4	Header	Brass and ABS	66,83	60	http://goo.gl/kEU5N
29	DIN 525 - M8 x 140 --- 40N	2	Mix	Stainles Steel			
30	DIN 525 - M6 x 130 --- 35N	1	Mix	Stainles Steel			
31	Connector	1	Profiled Rails	Stainles Steel	15,53		80/20
32	bed	4	Heated bed	-	1223,4	60	http://goo.gl/V3f2F
33	Z Rail	2	Profiled Rails	Stainles Steel	339,85		80/20
34	Y Rail	1	Profiled Rails	Stainles Steel	291,3		80/20

Num.	Name	Quantity	Belong to	Material	Weight (g)	Price (per unit) (€)	Reference
35	ISO 4762 M6 x 10 --- 10N	25	Mix	Stainles Steel			
36	ISO 4762 M6 x 16 --- 16N	6	Mix	Stainles Steel			
37	ISO 4762 M8 x 45 --- 28N	1	Mix	Stainles Steel			
38	ISO 4762 M6 x 50 --- 50N	2	Mix	Stainles Steel			
39	ISO 4762 M6 x 50 --- 24N	6	Mix	Stainles Steel			
40	ISO 4762 M6 x 40 --- 24N	16	Mix	Stainles Steel			
41	ISO 4762 M6 x 60 --- 60N	5	Mix	Stainles Steel			
42	ISO 4762 M6 x 25 --- 25N	2	Mix	Stainles Steel			
43	ISO 4762 M6 x 12 --- 12N	12	Mix	Stainles Steel			
44	ISO 4762 M4 x 6 --- 6N	7	Mix	Stainles Steel			
45	ISO 4762 M3 x 5 --- 5N	16	Mix	Stainles Steel			
46	ISO 4762 M8 x 55 --- 55N	3	Mix	Stainles Steel			
47	ISO 4762 M2.5 x 4 --- 4N	4	Mix	Stainles Steel			
48	ISO 4762 M5 x 50 --- 50N	16	Mix	Stainles Steel			
49	Connector	1	Profiled Rails	Stainles Steel	54,98		80/20
50	Motor Holder	1	Motor	ABS	28,86		
51	Hexagon Nut ISO - 4034 - M6 - N	1	Mix	Stainles Steel			
52	Hexagon Nut ISO - 4034 - M8 - N	1	Mix	Stainles Steel			
53	8020-25-4111_FORx_INVERSE	1	Motor	ABS2	28,7		80/20
54	Gear Belt Support	1	Motor	ABS	18,3		
55	Connector	1	Profiled Rails	ABS	15,21		80/20
56	Bed_connector	1	Heated Bed	ABS	2072,3		
57	Stepper motor drive	4	Motor	-	29,75	15	http://goo.gl/GQcht
58	ExtruderaBlock_contra	1	Extruder	ABS	30,13		
59	Geared Wheel 1	1	Extruder	ABS	14,519		
60	Geared Wheel 2	1	Extruder	ABS	1,0664		

Num.	Name	Quantity	Belong to	Material	Weight (g)	Price (per unit) (€)	Reference
61	ExtruderaBlock	1	Extruder	ABS	34,12		
62	T-nut-Square.14124	11	Mix				
63	beltjoint	2	Motor	ABS	1,34		
64	Belt1	2	Motor	BUTYL	20,87	19	http://goo.gl/tYjgu
65	Belt2	1	Motor	BUTYL	20,28	19	http://goo.gl/tYjgu
66	Washer ISO 7089 - 8	7	Mix	Stainles Steel			
67	DIN 914 - M2 x 3-N	1	Mix	Stainles Steel			
68	motorhanger	1	Motor	ABS	35,52		
69	Spool Holder	4	Extruder	ABS	1030,4	10	http://goo.gl/yAaR4
70	ScrewReceptor	1	Motor	ABS	7,2		
71	ATX power supply	1	Motor	-	1,8606	60	http://goo.gl/Orw5A
72	Controller Board	1	Motor	-	16,91	170	http://goo.gl/ZVbBH
73	Base 1	1	Profiled Rails	-	689,46		
74	Top End	3	Profiled Rails	BUTYL	6,77		
75	Base 2	1	Profiled Rails	697,83	697,83		
76	ABS Roll	4 rolls	Extruder				http://goo.gl/IIDbA http://goo.gl/2VqXc

Table. 39 Bill of materials

ANEXO II: REFERENCIAS

As mentioned before, one of the advantages of this project is the huge amount of information that can be found into different webpages. Even more, due to the different communities and wikis it is important to mention that almost all the information is reliable and continuously revised. For that nearly all the sources are different links instead regular papers or books.

- [1] Infography about 3D printing history <http://goo.gl/R6F8A>
- [2] 3D printing: http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing
- [3] History of 3D printing <http://www.squidoo.com/3d-printing-jewellery>
- [4] Fused Deposition Modellin <http://goo.gl/pTjO4>
- [5] Reprap Project http://reprap.org/wiki/Main_Page
- [6] D. Holland, G. O'Donnell and G. Bennett : Open Design and the Reprap Project
- [7] Extruders <http://reprap.org/wiki/Category:Extruders>
- [8] Thingiverse <http://www.thingiverse.com/>
- [9] 3D printing Industry <http://3dprintingindustry.com/>
- [10] 3D printer Hub <http://3dprinterhub.com/>
- [11] Fab@Home <http://www.fabathome.org/>
- [12] Solidforum <http://www.soliforum.com/>
- [13] Explaining the future, 3D printing directory <http://goo.gl/XlSeY>
- [14] Extruder Options http://www.reprap.org/wiki/RepRap_Options#Extruder
- [15] Forbes Magazine <http://goo.gl/kizWP>
- [16] BBC News <http://www.bbc.co.uk/news/uk-scotland-20031657>
- [17] 3Ders <http://goo.gl/oQQcF>
- [18] The rise of additive Manufacturing <http://goo.gl/IUUbB>
- [19] 3D printing benefits <http://augmentedtomorrow.com/9-benefits-3d-printing/>
- [20] Desktop fabricator may kick-start home revolution <http://goo.gl/fbAVK>
- [21] Extruders <http://reprap.org/wiki/Category:Extruders>
- [22] Extruder options http://www.reprap.org/wiki/RepRap_Options#Extruder
- [23] Bowden http://www.reprap.org/wiki/Erik%27s_Bowden_Extruder
- [24] Teflon Tubes <http://www.adtech.co.uk/TubeSize2.html>
- [25] Geared Extruder http://reprap.org/wiki/Geared_extruder_nozzle
- [26] Pololu Stepper Motor <http://www.pololu.com/catalog/product/1182/>
- [27] Stepper motor http://reprap.org/wiki/Stepper_motor
- [28] Stepper driver http://reprap.org/wiki/Pololu_stepper_driver_board
- [29] F Pierrot, C Reynaud, A Fournier: DELTA: a simple and efficient parallel robot – Cambridge University Press
- [30] Michael Stock and Karol Miller: Optimal Kinematic Design of Spatial Parallel Manipulators: Application to Linear Delta Robot <http://goo.gl/s4iNE>
- [31] Rostock <http://reprap.org/wiki/Rostock>
- [32] Extruder Nozzle Variations http://reprap.org/wiki/Extruder_Nozzle_Variations

- [33] Heated bed http://www.reprap.org/wiki/Heated_Bed
- [34] Heated Bed 2Print Beta <http://goo.gl/Sz76y>
- [35] Calibration process http://reprap.org/wiki/Calibration#Calibration_processes
- [36] Rubber heated bed http://store.qu-bd.com/product.php?id_product=60
- [37] Mechanical body <http://goo.gl/NFvhl>
- [38] Printrbot <http://printrbot.com/>
- [39] Toolbox <http://www.8020.net/Design-Tools-26.asp>
- [40] 3D printing market infography <http://goo.gl/ncVK7>

ANEXO III: PLANIFICACIÓN Y DIAGRAMA DE GANTT

A continuación se presentan las tareas más relevantes del proyecto con sus correspondientes fechas de comienzo y fin y representadas mediante un diagrama de Gantt.

Tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Proyecto	251 días	lun 17/09/12	sáb 31/08/13	
2	Lectura de normativa y tipología de proyectos	5 días	lun 17/09/12	vie 21/09/12	
3	Propuesta del proyecto	9 días	lun 24/09/12	jue 04/10/12	
4	Lecturas preliminares	28 días	lun 24/09/12	mié 31/10/12	
5	Establecimiento de objetivos principales	12 días	jue 01/11/12	vie 16/11/12	4;3
6	Formación en el manejo de las herramientas informáticas	25 días	lun 19/11/12	vie 21/12/12	
7	Elaboración memoria	108 días	lun 17/12/12	mié 15/05/13	3;2
8	Diseño conceptual	14 días	lun 14/01/13	jue 31/01/13	3;4
9	Comparativas de diseño	9 días	lun 21/01/13	jue 31/01/13	3;4
10	Propuestas de diseño	4 días	lun 28/01/13	jue 31/01/13	3;4;9
12	Definición general de la impresora 3D	6 días	vie 01/02/13	vie 08/02/13	10;8
12	Extrusor	14 días	lun 11/02/13	jue 28/02/13	11
13	Boquillas	6 días	vie 01/03/13	vie 08/03/13	11
14	Cama térmica	10 días	lun 11/03/13	vie 22/03/13	11
15	Cinemática	20 días	lun 25/03/13	vie 19/04/13	11
16	Cálculos mecánicos	22 días	lun 01/04/13	mar 30/04/13	11
17	Diseño CAD completo	80 días	lun 14/01/13	vie 03/05/13	5;6
18	Resumen en español	25 días	lun 10/06/13	vie 12/07/13	17;7
19	Conclusiones e informe de cierre	5 días	lun 15/07/13	vie 19/07/13	18
20	Revisión e impresión	11 días	jue 01/08/13	jue 15/08/13	7;18;19

Table. 40 Gantt

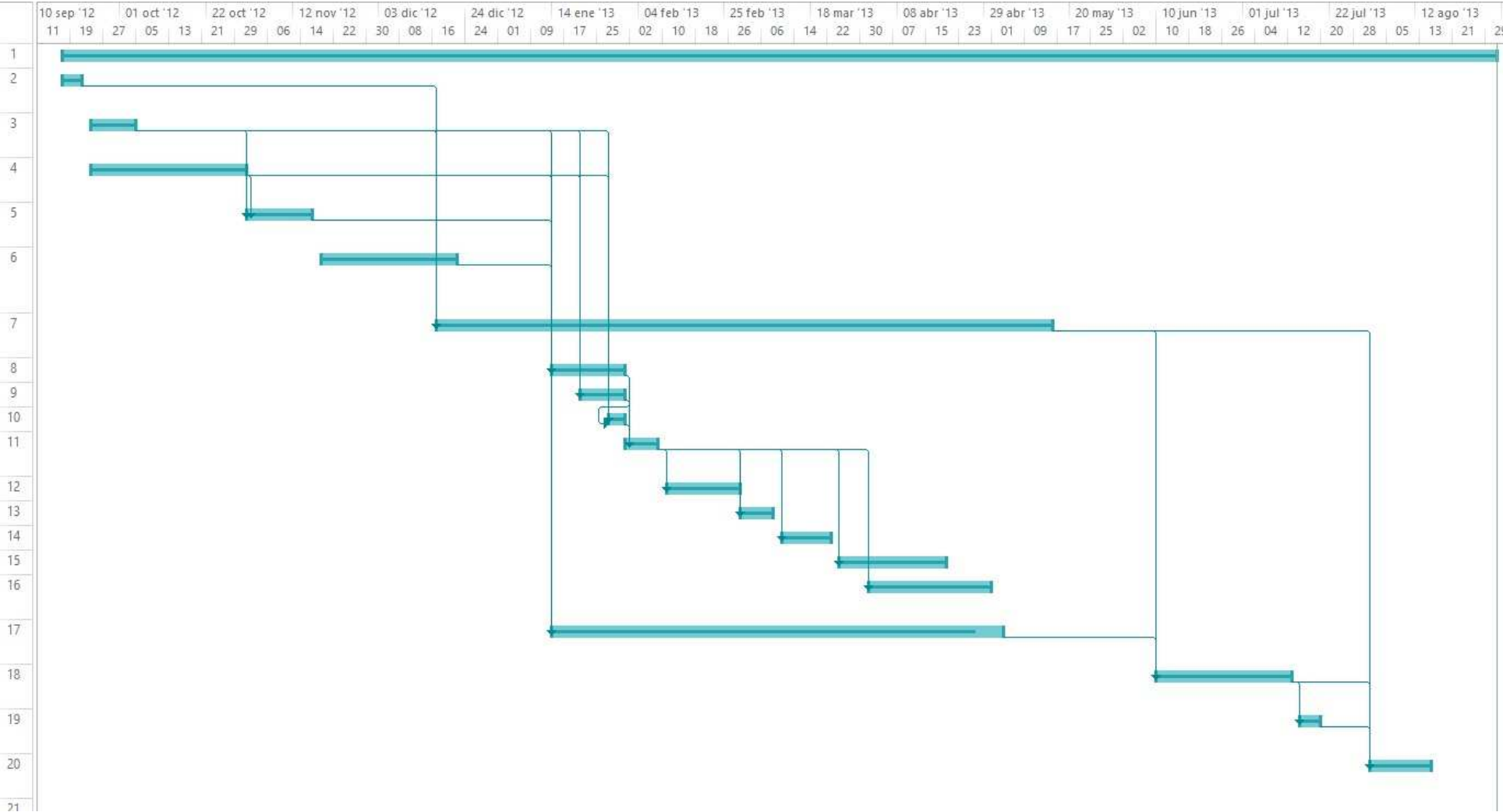


Fig. 184 Gantt Chart

ANEXO IV: TESTS MECÁNICOS DETALLADOS

A continuación se presenta una lista de los diferentes informes extraídos de los estudios mecánicos. Dichos informes son generados automáticamente mediante SolidWorks, y posteriormente se les han añadido algunos comentarios aclaratorios. Además el último de los informes esta realizado mediante la aplicación Toolbox.

- Header 1
- Header 2
- X-Y Connector
- X motor holder
- Y profiled
- Z motor Holder 1
- Z motor holder 2
- Y Rail by toolbox



Simulation of NozzlesConnector

Date: 17. April 2013
Designer: Rafael Bobo Garcia
Study name: SimulationXpress Study
Analysis type: Static

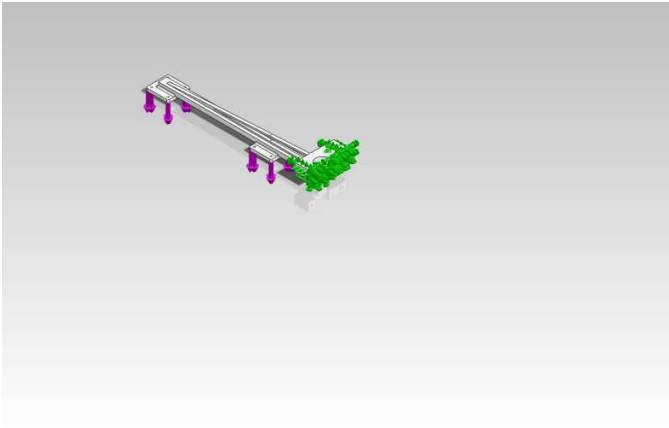
Table of Contents

Description	1
Assumptions	2
Model Information	2
Material Properties	4
Loads and Fixtures	4
Mesh Information	5
Study Results	7
Conclusion	9

Description

Deep analysis of the Header or Nozzle-connector.
This document has been partially created by the automatic report system of Solid Works

Assumptions

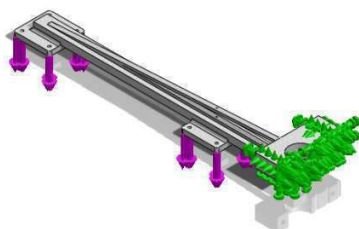


Original Model



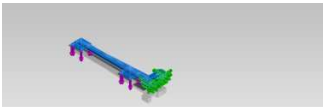
Model Analyzed

Model Information

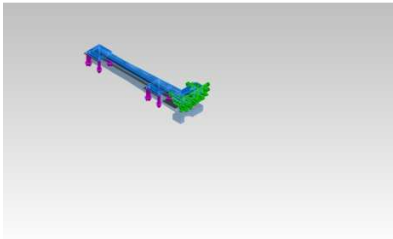


Model name: NozzlesConnector
Current Configuration: Predeterminado

Solid Bodies

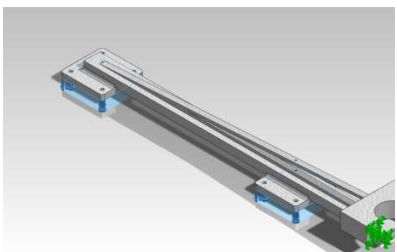
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Redondeo6 	Solid Body	Mass: 1.34985 lb Volume: 36.6311 in ³ Density: 0.0368498 lb/in ³ Weight: 1.34894 lbf	C:\Users\lg0404599\Downloads\3Dprinter_20130417 \NozzlesConnector.SLDPR T Apr 17 18:08:00 2013

Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	Name: ABS Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Unknown Tensile strength: 3e+007 N/m ²	SolidBody 8(Redondeo6)(NozzlesConnector)

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details
Fixed-1		Entities: 12 face(s) Type: Fixed Geometry

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 2 face(s) Type: Apply normal force Value: -0.98 N

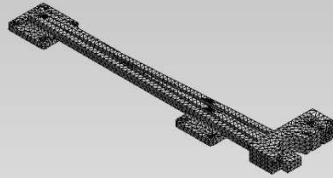
Mesh Information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	8.43772 mm
Tolerance	0.421886 mm
Mesh Quality	High

Mesh Information - Details

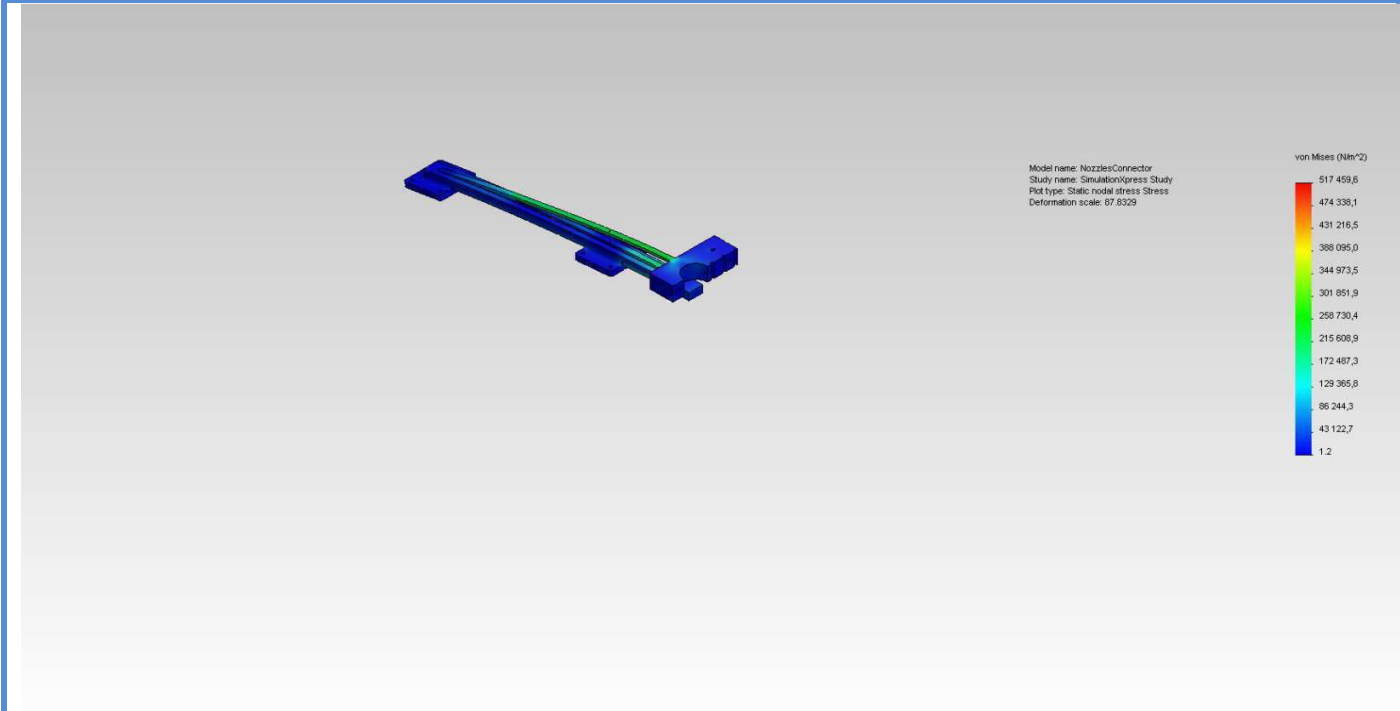
Total Nodes	22987
Total Elements	13202
Maximum Aspect Ratio	14.452
% of elements with Aspect Ratio < 3	94.2
% of elements with Aspect Ratio > 10	0.159
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:03
Computer name:	LUT2135

Model name: NozzlesConnector
Study name: SimulationXpress Study
Mesh type: Solid mesh



Study Results

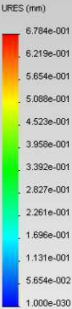
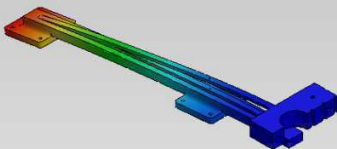
Name	Type	Min	Max
Stress	VON: von Mises Stress	1.21428 N/m^2 Node: 20686	517460 N/m^2 Node: 21068



NozzlesConnector-SimulationXpress Study-Stress-Stress

Name	Type	Min	Max
Displacement	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 12	0.67843 mm Node: 1511


Model name: NozzlesConnector
Study name: SimulationXpress Study
Plot type: Static displacement Displacement
Deformation scale: 87.5128



NozzlesConnector-SimulationXpress Study-Displacement-Displacement

Name	Type
Deformation	Deformed Shape

Model name: NozzlesConnector
Study name: SimulationXpress Study
Plot type: Deformed Shape Deformation
Deformation scale: 67.5329



NozzlesConnector-SimulationXpress Study-Displacement-Deformation

Conclusion

The deformation exceeds the maximum allowed. The design must be optimized.



Simulation of NozzlesConnector

Date: 18. april 2013
Designer: Rafael Bobo Garcia
Study name: SimulationXpress Study
Analysis type: Static

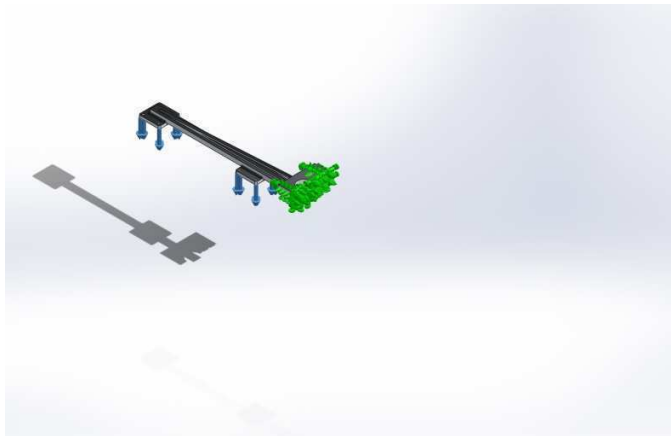
Table of Contents

Description	1
Assumptions	2
Material Properties	2
Loads and Fixtures	3
Mesh Information	4
Study Results	6
Conclusion	9

Description

Second analysis of the header or nozzles connector. In this case the main point is the new material: Aluminum.

Assumptions




Original Model



Model Analyzed

Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	Name: 1060 Alloy Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Unknown Yield strength: 2.75742e+007 N/m ² Tensile strength: 6.89356e+007 N/m ²	SolidBody 3(Redondeo6)(NozzlesConnector)

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details
Fixed-1		Entities: 11 face(s) Type: Fixed Geometry

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 2 face(s) Type: Apply normal force Value: -1 N

Mesh Information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points	4 Points
Element Size	8.43772 mm
Tolerance	0.421886 mm
Mesh Quality	High

Mesh Information - Details

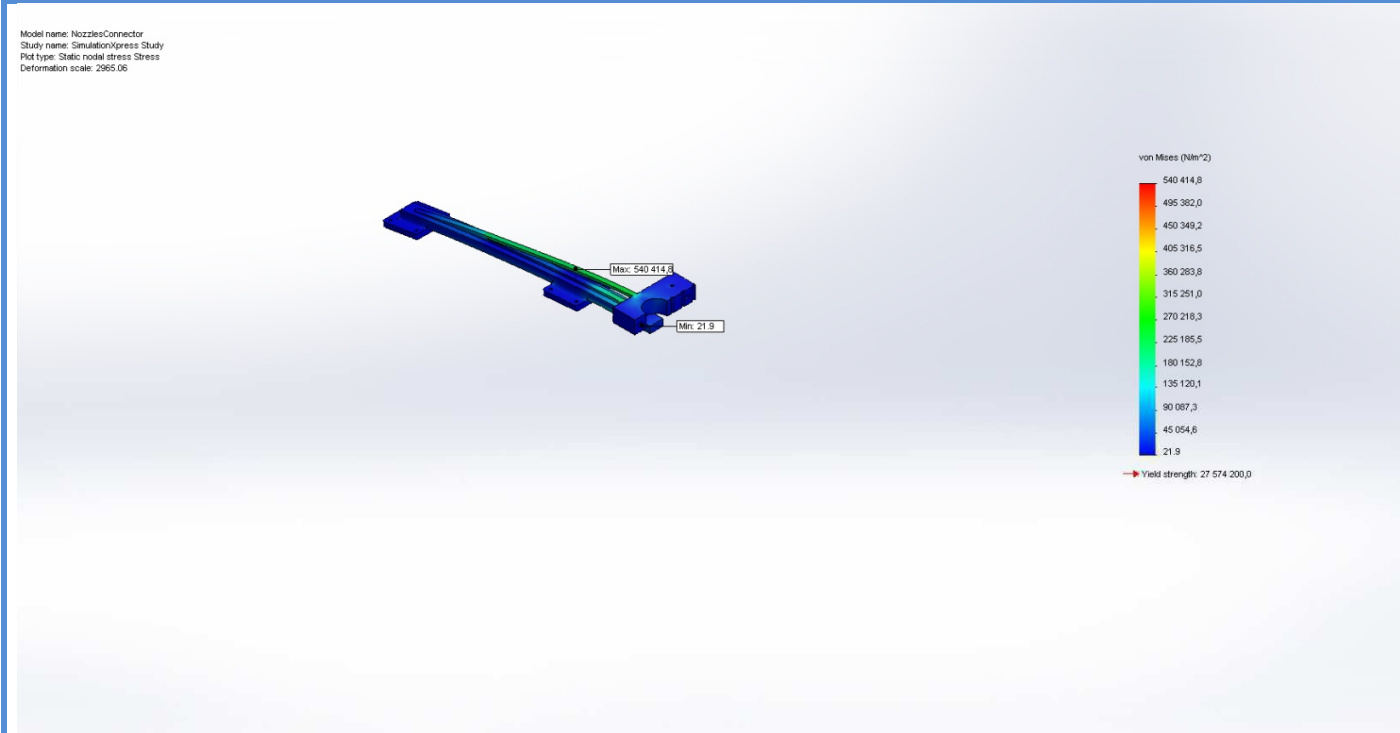
Total Nodes	22987
Total Elements	13202
Maximum Aspect Ratio	14.452
% of elements with Aspect Ratio < 3	94.2
% of elements with Aspect Ratio > 10	0.159
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:02
Computer name:	LUT2879

Model name: NozzlesConnector
Study name: SimulationXpress Study
Mesh type: Solid mesh



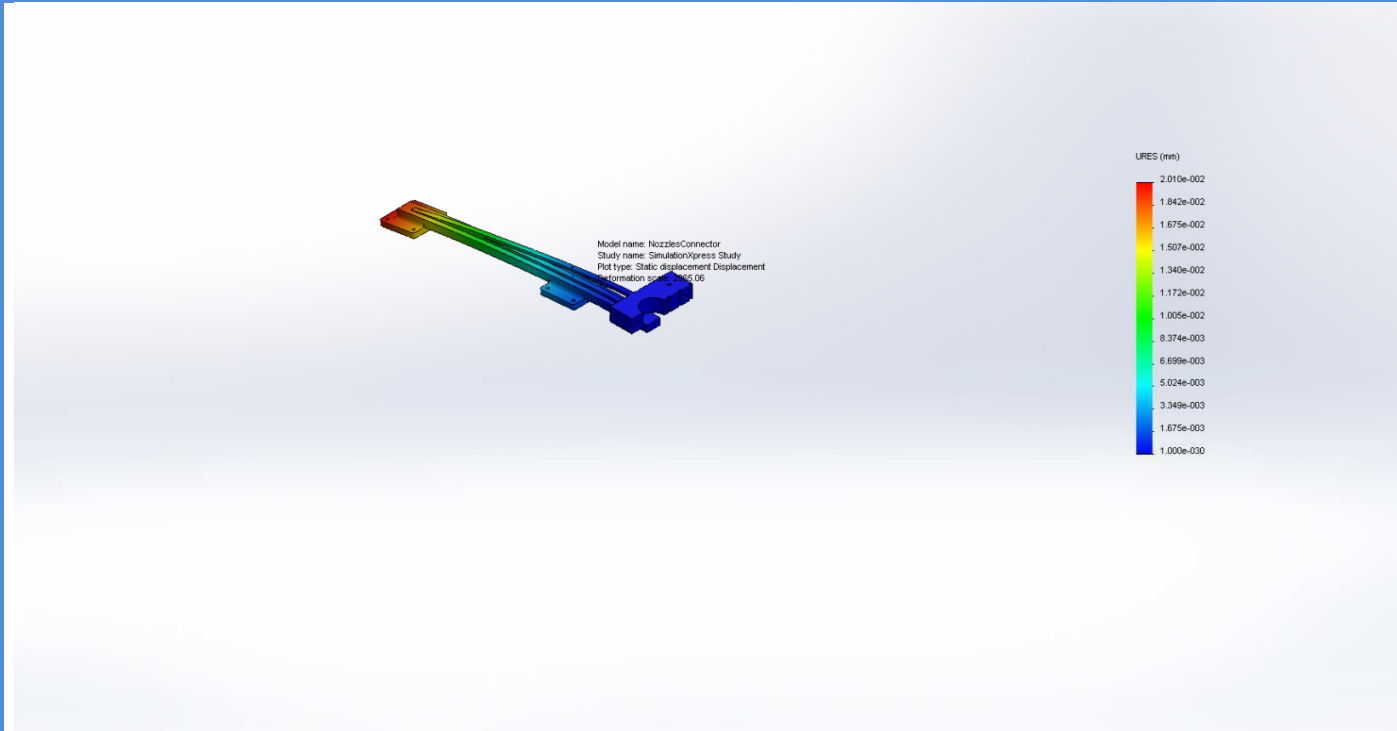
Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress	VON: von Mises Stress	21.8565 N/m^2 Node: 20376	540415 N/m^2 Node: 21068



NozzlesConnector-SimulationXpress Study-Stress-Stress

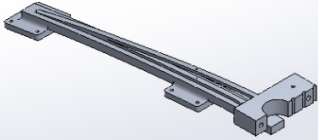
Name	Type	Min	Max
Displacement	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 12	0.0200968 mm Node: 1511



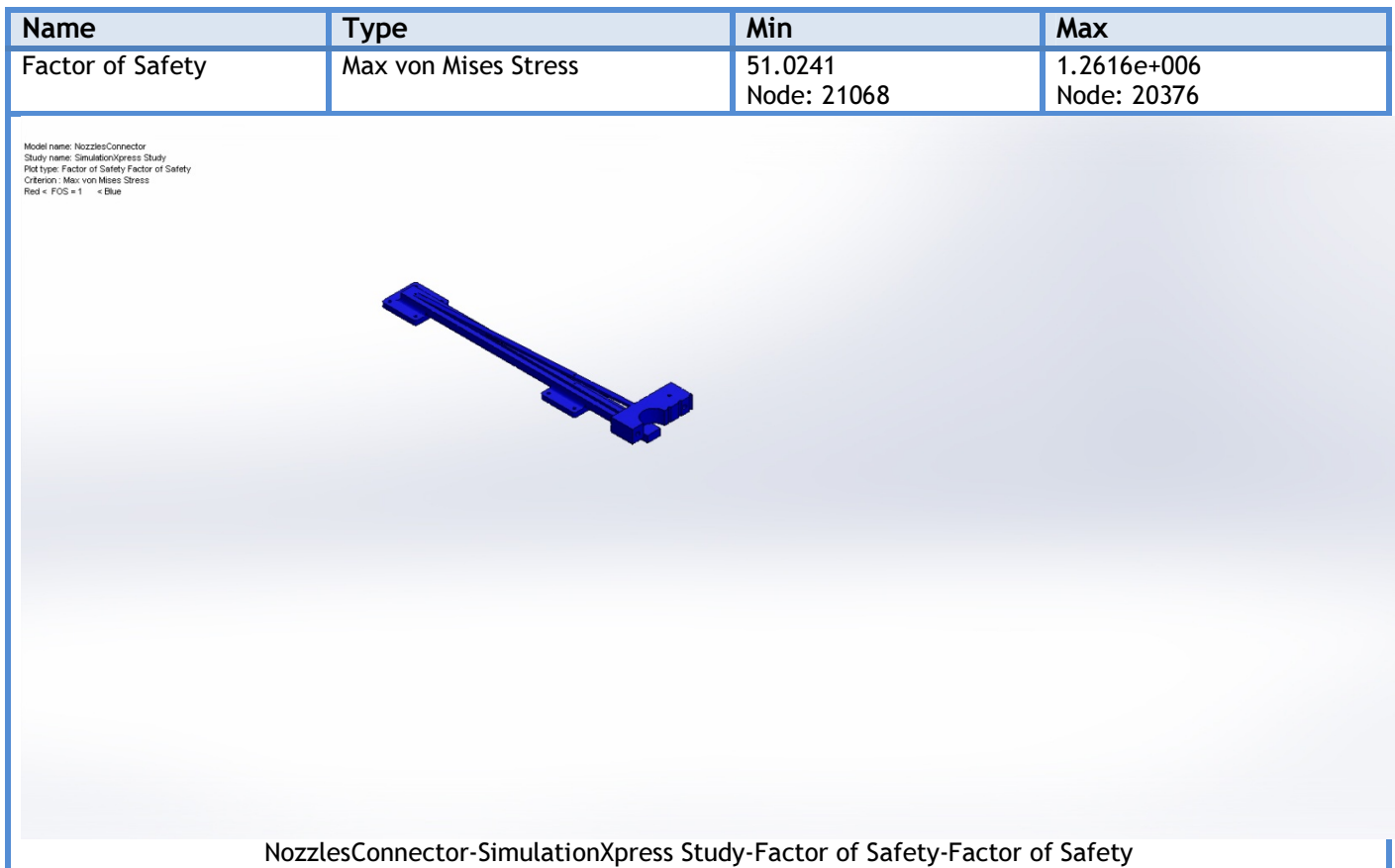
NozzlesConnector-SimulationXpress Study-Displacement-Displacement

Name	Type
Deformation	Deformed Shape

Model name: NozzlesConnector
Study name: SimulationXpress Study
Plot type: Deformed Shape Deformation
Deformation scale: 2965.06

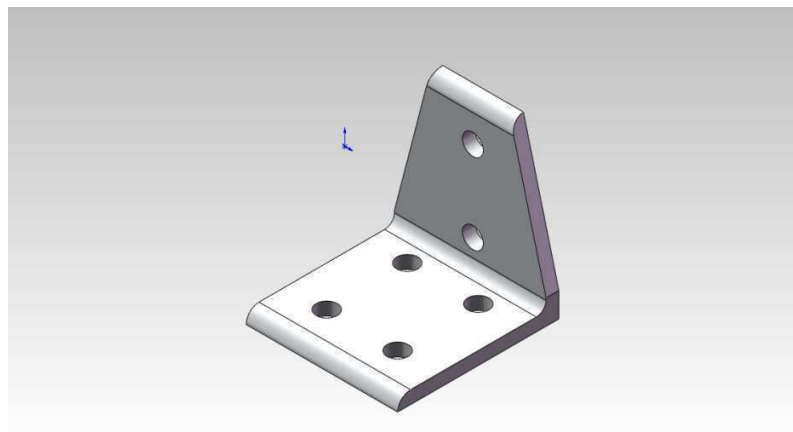


NozzlesConnector-SimulationXpress Study-Displacement-Deformation



Conclusion

With this new material the deformation is really low and of course under 0.05 mm so the header is now fully functional.



Descripción

Study of the piece which connects the X arm to the Y arm

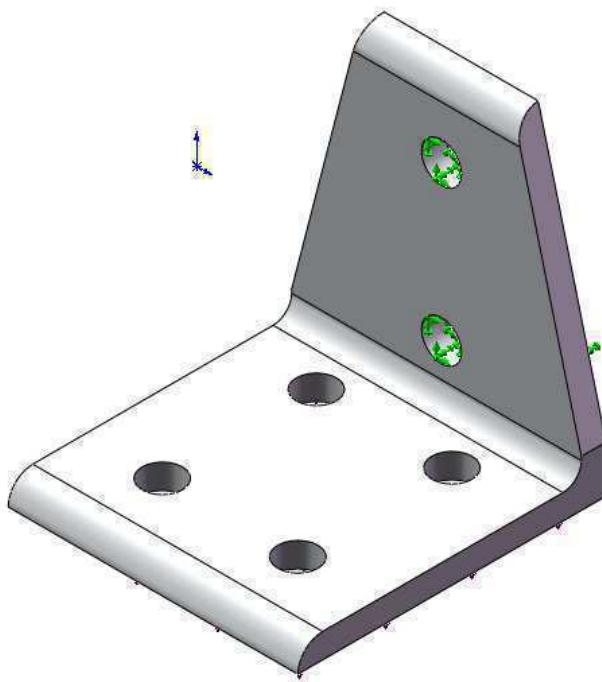
Simulación de X-Y Connector

Fecha: lunes, 22 de abril de 2013
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de análisis: Estático

Table of Contents

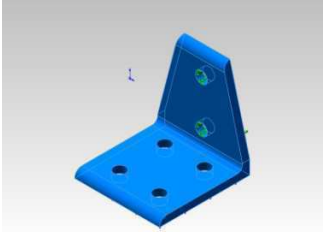
Descripción	1
Información de modelo	2
Propiedades de material	3
Cargas y sujeciones	3
Información de malla	4
Resultados del estudio.....	6
Conclusión	9

Información de modelo

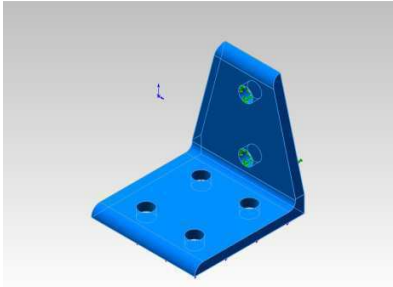


Nombre del modelo: 8020-25-4111-DEFAULT
Configuración actual: Default

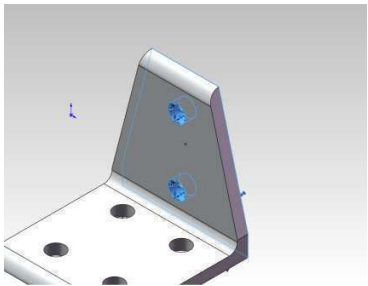
Sólidos

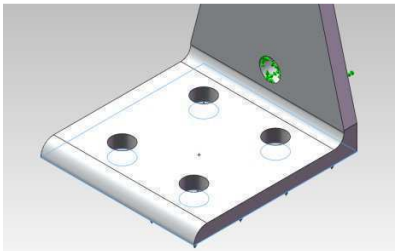
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Cut-Extrude3 	Sólido	Masa:0.0906442 lb Volumen:0.929268 in ³ Densidad:0.0975437 lb/in ³ Peso:0.0905828 lbf	C:\Users\Rafael Bobo Garcia\Dropbox\PROYECT O\MY 3D DESIGNS\MARZO\8020-25- 4111-DEFAULT.SLDPRT Apr 22 01:02:16 2013

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Aleación 1060 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises Límite elástico: 2.75742e+007 N/m ² Límite de tracción: 6.89356e+007 N/m ²	Sólido 1(Cut-Extrude3)(8020-25-4111-DEFAULT)

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Geometría fija

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: -25.48 N

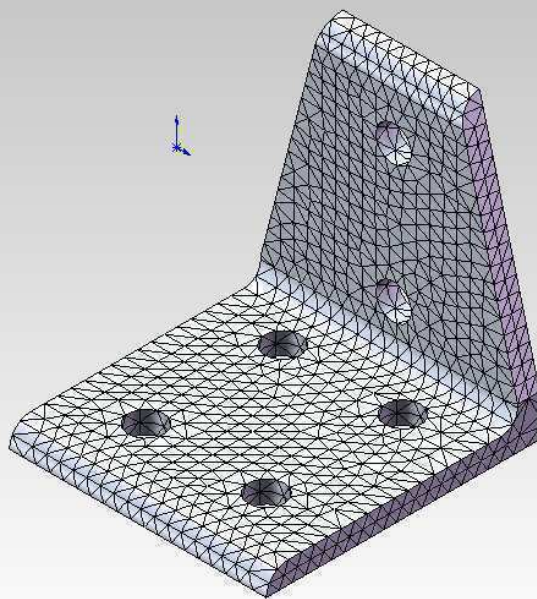
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	2.47956 mm
Tolerancia	0.123978 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	13422
Número total de elementos	7684
Cociente máximo de aspecto	4.3496
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	RAFAELBG-PC

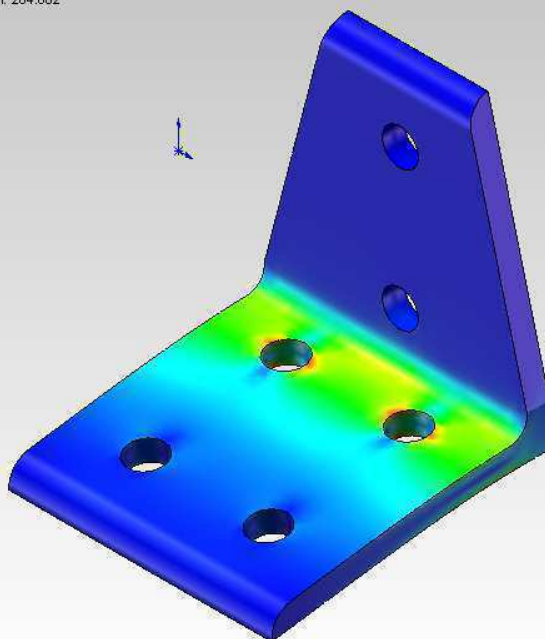
Nombre de modelo: 8020-25-4111-DEFAULT
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de malla: Malla de sólido



Resultados del estudio

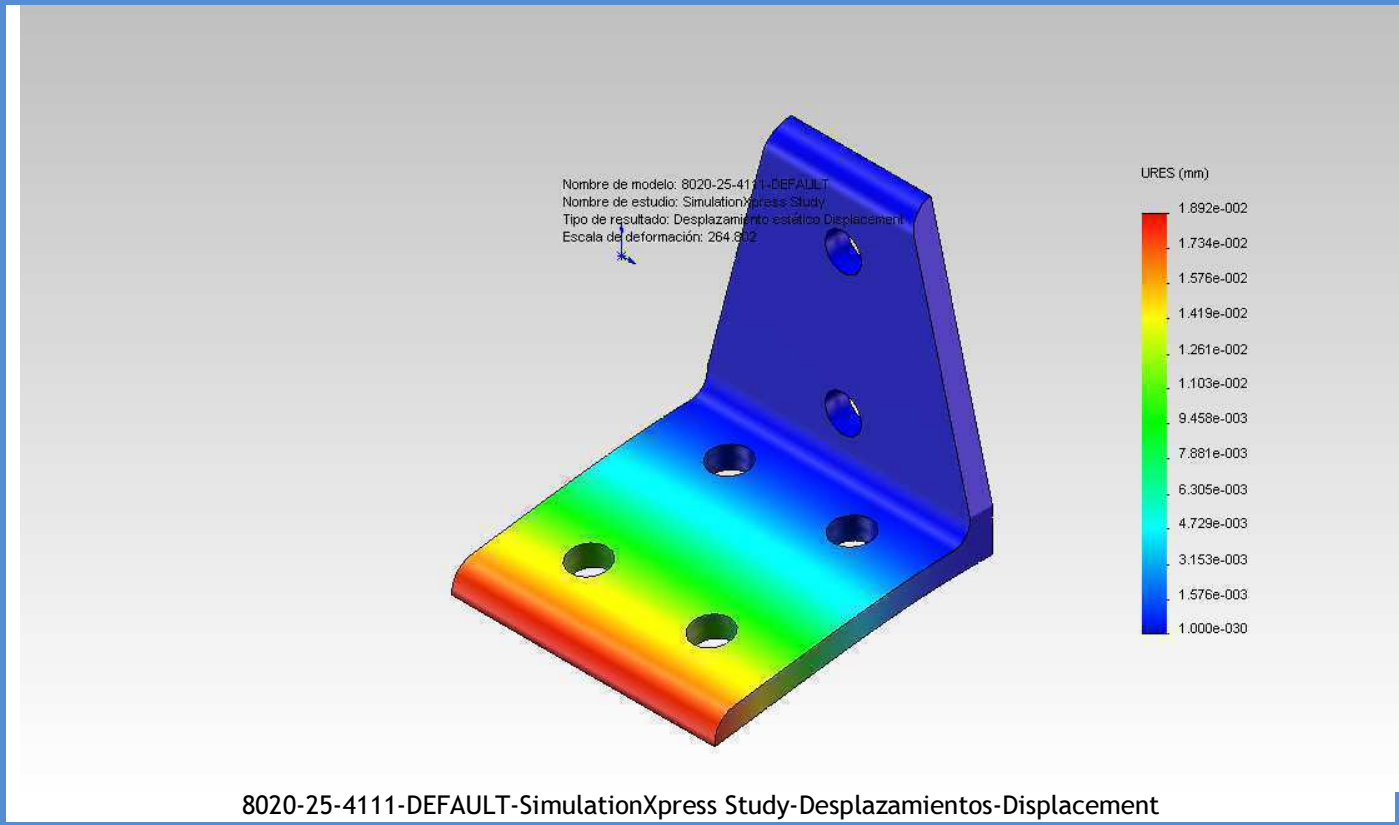
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Stress	VON: Tensión de von Mises	0.343064 N/m ² Nodo: 12685	6.1942e+006 N/m ² Nodo: 13277

Nombre de modelo: 8020-25-4111-DEFAULT
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Static tensión nodal Stress
Escala de deformación: 264.802



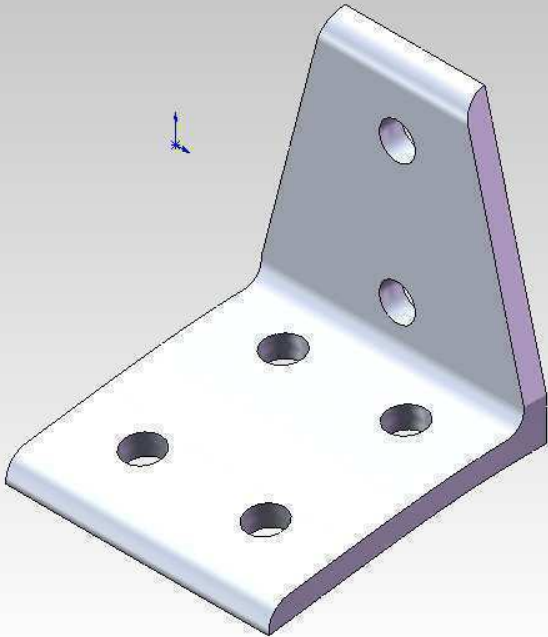
8020-25-4111-DEFAULT-SimulationXpress Study-Tensiones-Stress

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Displacement	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 77	0.0189154 mm Nodo: 8546



Nombre	Tipo
Deformation	Forma deformada

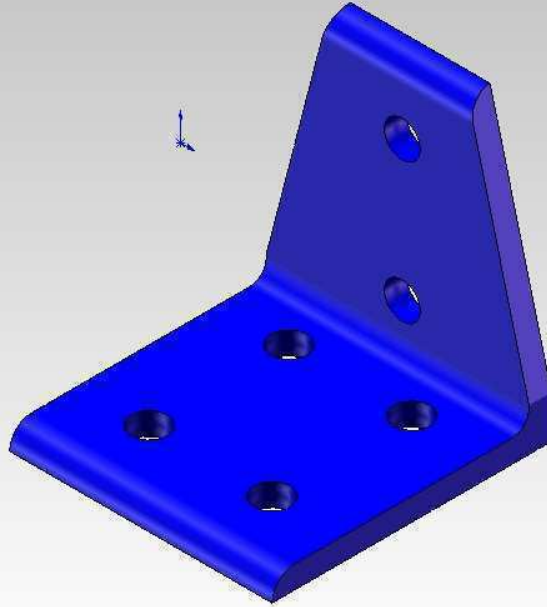
Nombre de modelo: 8020-25-4111-DEFAULT
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Forma deformada Deformation
Escala de deformación: 264.802



8020-25-4111-DEFAULT-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Deformation

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	4.45162 Nodo: 13277	8.03764e+007 Nodo: 12685

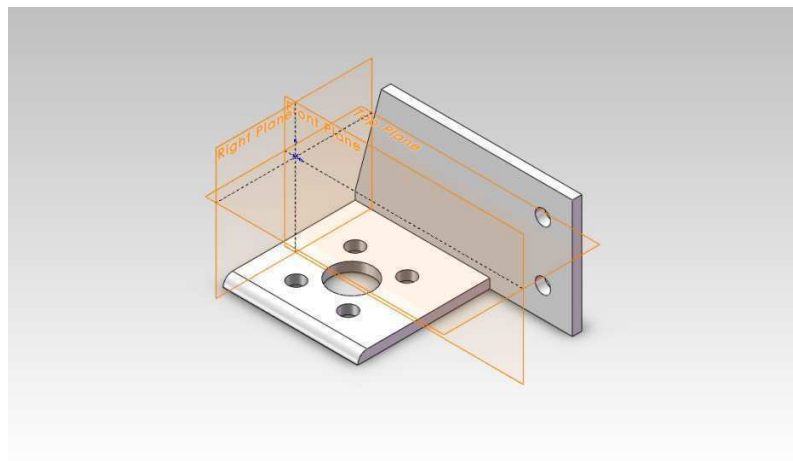
Nombre de modelo: 8020-25-4111-DEFAULT
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety
 Criterio: Tensiones von Mises máx.
 Rojo < FOS = 1 < Azul



8020-25-4111-DEFAULT-SimulationXpress Study-Factor de seguridad-Factor of Safety

Conclusión

The displacement is really low, under 0.05 mm, so the piece is well designed.



Descripción

Simulación de las deformaciones sufridas por la pieza encargada de mantener el motor de la coordenada X

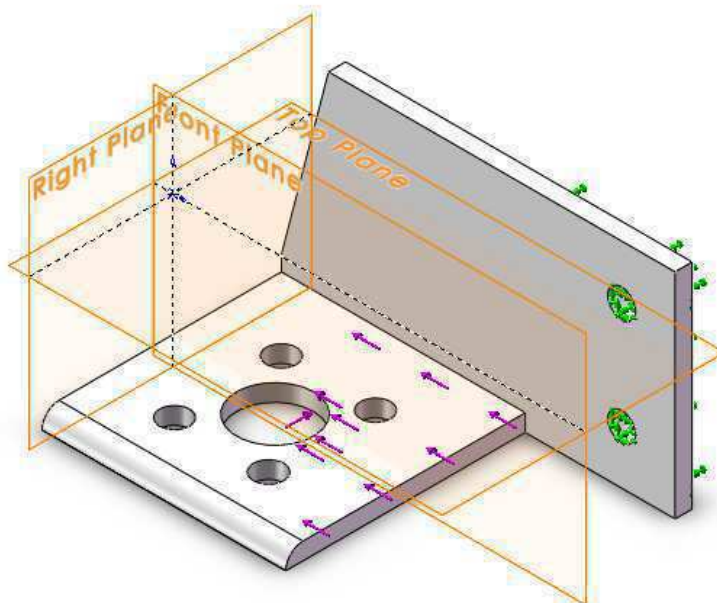
Simulación de X Motor Holder

Fecha: martes, 23 de abril de 2013
Diseñador: Rafael Bobo García
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de análisis: Estático

Table of Contents

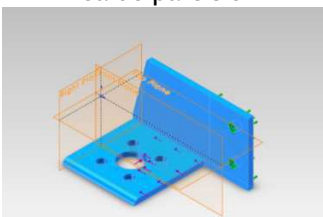
Descripción	1
Información de modelo	2
Propiedades de material	3
Cargas y sujeciones	4
Información de malla	5
Resultados del estudio	7
Conclusión	10

Información de modelo

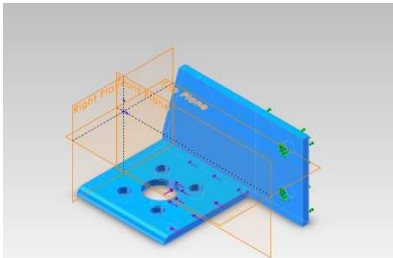


Nombre del modelo: 8020-25-4111_FORx_INVERSE
Configuración actual: Inverso

Sólidos

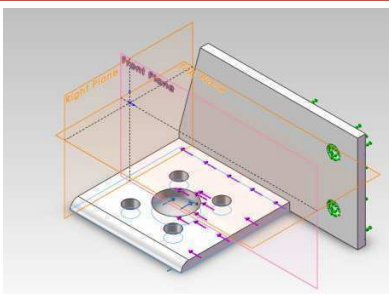
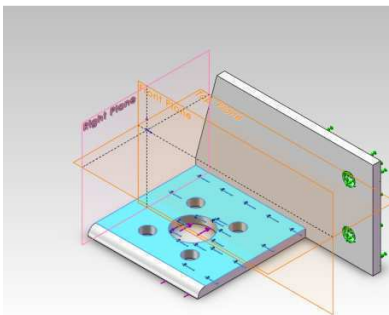
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Línea de partición2 	Sólido	Masa:0.063277 lb Volumen:1.71716 in ³ Densidad:0.0368498 lb/in ³ Peso:0.0632341 lbf	C:\Users\Rafael Bobo Garcia\Dropbox\PROYECT O\MY 3D DESIGNS\MARZO\8020-25-4111_FORx_INVERSE.SLD PRT Apr 23 21:01:09 2013

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ABS2</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 4.2e+007 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 3e+007 N/m²</p>	Sólido 1(Línea de partición2)(8020-25-4111_FORx_INVERSE)

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Geometría fija

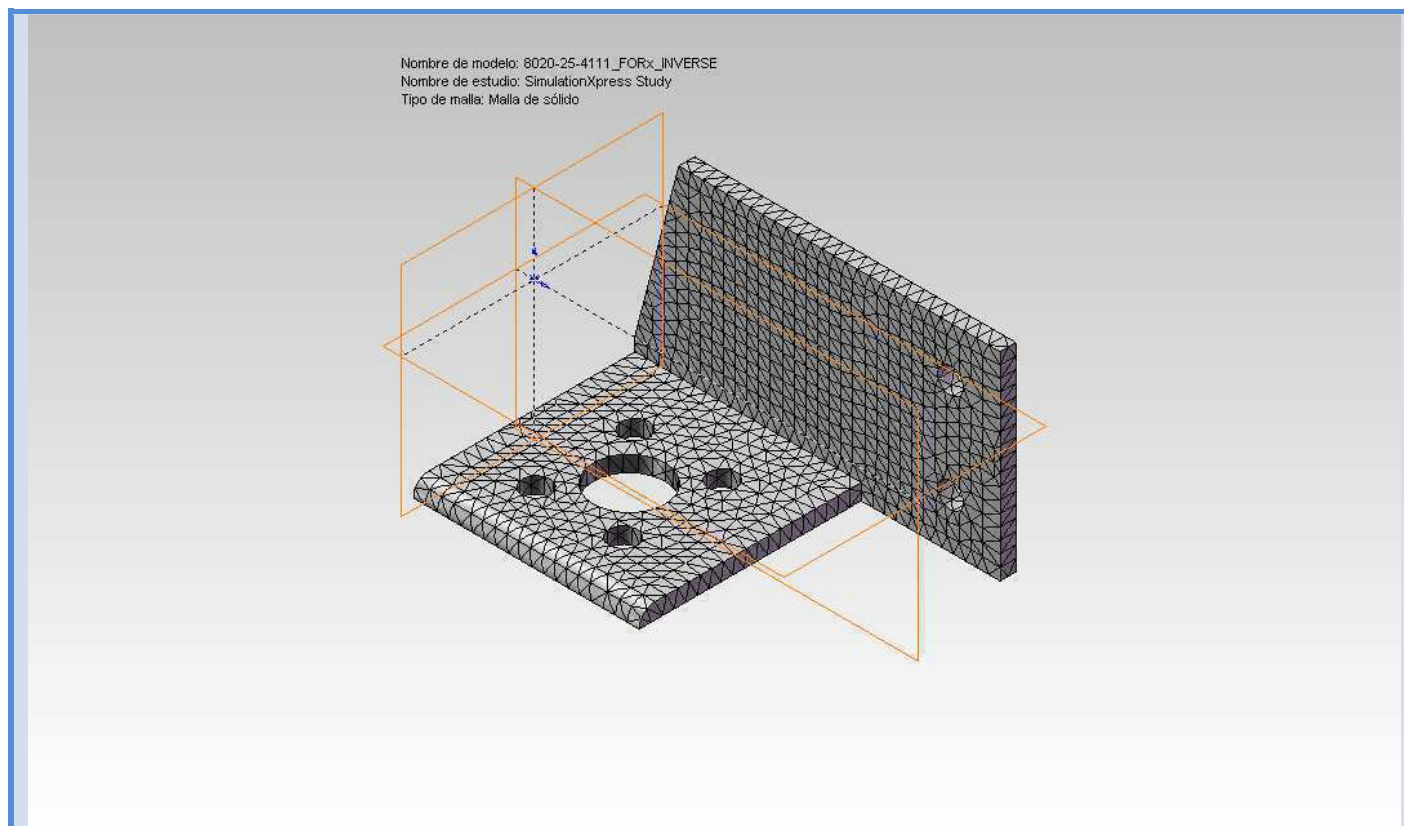
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s), 1 plano(s) Referencia: Front Plane Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, -2 N
Fuerza-2		Entidades: 1 cara(s), 1 plano(s) Referencia: Right Plane Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, -2.43 N

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	0 mm
Tamaño mínimo del elemento	0 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

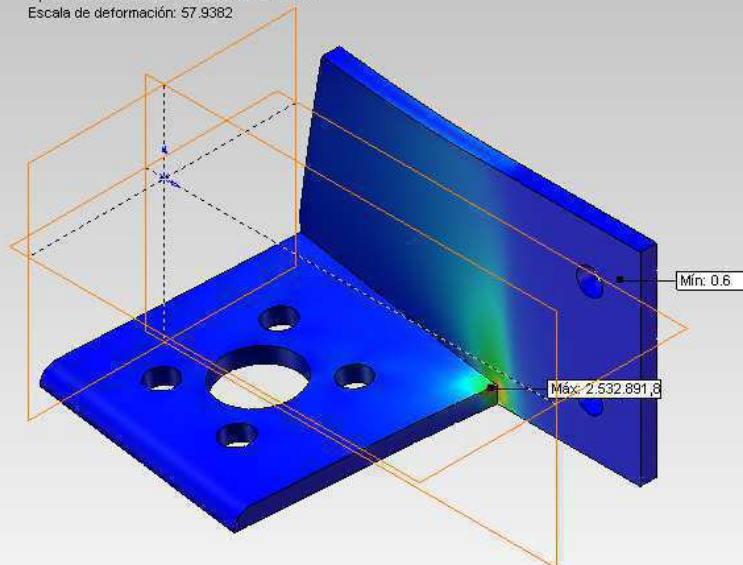
Número total de nodos	14962
Número total de elementos	8499
Cociente máximo de aspecto	4.1977
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	RAFAELBG-PC



Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Stress	VON: Tensión de von Mises	0.610466 N/m ² Nodo: 18	2.53289e+006 N/m ² Nodo: 11150

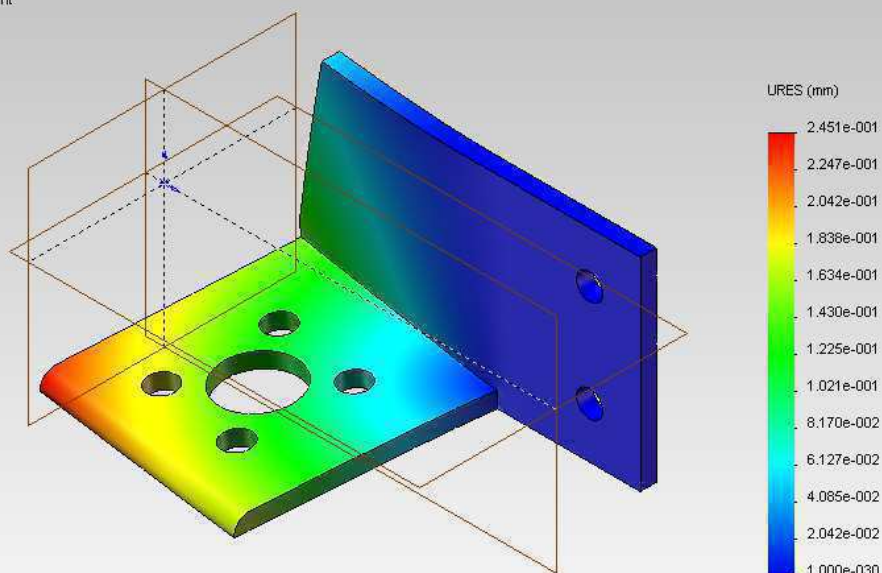
Nombre de modelo: 8020-25-4111_FORx_INVERSE
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Static tensión nodal Stress
Escala de deformación: 57.9382



8020-25-4111_FORx_INVERSE-SimulationXpress Study-Tensiones-Stress

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.245086 mm Nodo: 174

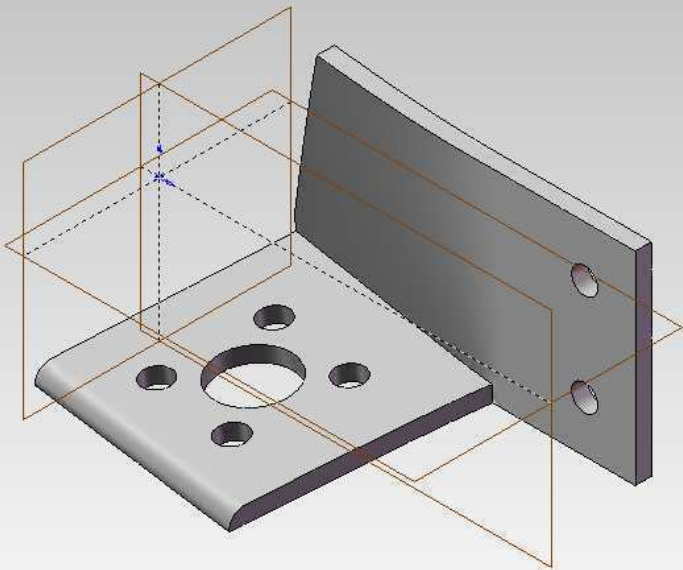
Nombre de modelo: 8020-25-4111_FORx_INVERSE
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Displacement
Escala de deformación: 57.9382



8020-25-4111_FORx_INVERSE-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Displacement

Nombre	Tipo
Deformation	Forma deformada

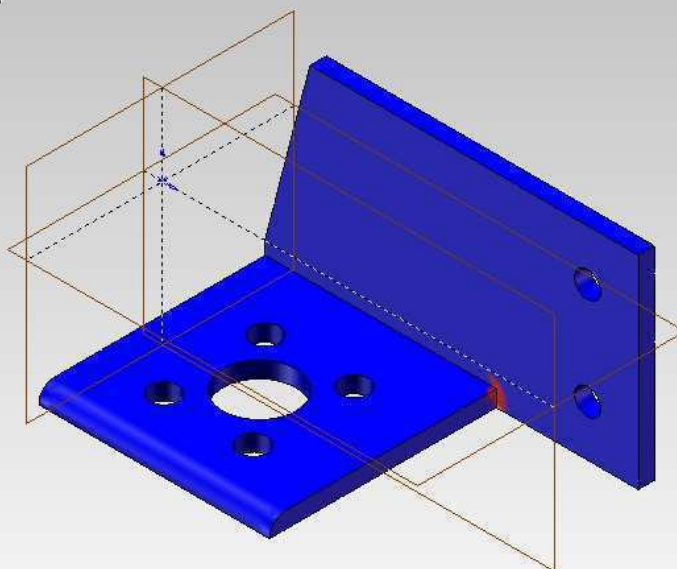
Nombre de modelo: 8020-25-4111_FORx_INVERSE
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Forma deformada Deformation
Escala de deformación: 57.9382



8020-25-4111_FORx_INVERSE-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Deformation

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	16.5818 Nodo: 11150	6.87999e+007 Nodo: 18

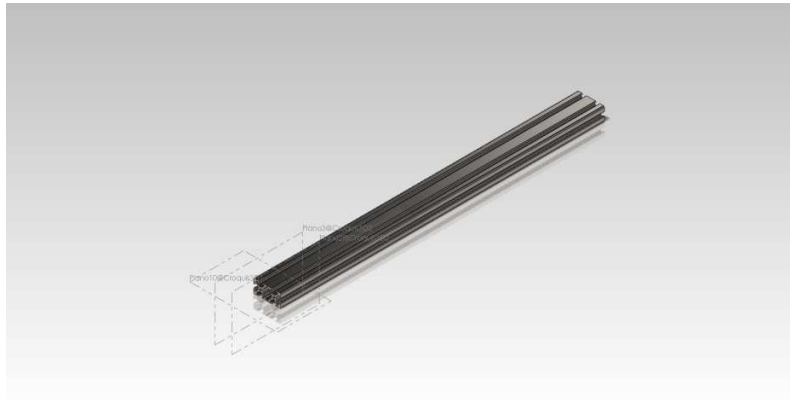
Nombre de modelo: 8020-25-4111_FORx_INVERSE
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Rojo < FOS = 30 < Azul



8020-25-4111_FORx_INVERSE-SimulationXpress Study-Factor de seguridad-Factor of Safety

Conclusión

Como se puede ver, no hay riesgo de rotura, pues en el punto más crítico, el factor de seguridad es de 16. Por otro lado, los desplazamientos superan los 0.05 mm pero este desplazamiento no se traduce directamente en una deformación sobre la posición del cabezal, sino que se ve amortiguado por la tensión de la correa. En resumen, el resultado es aceptable.



Simulation of Railz_Ycoordinate

Date: 17. april 2013
Designer: Rafael Bobo Garcia
Study name: Study 1
Analysis type: Static

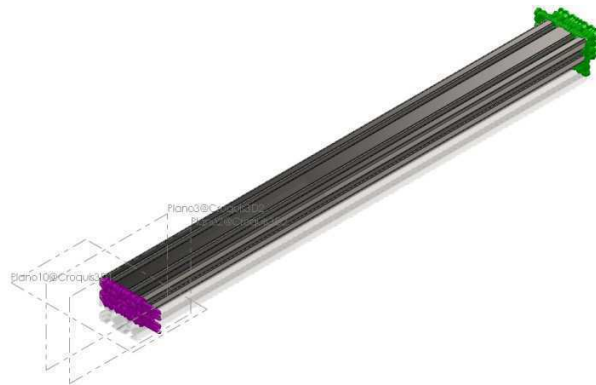
Table of Contents

Description	1
Model Information	2
Study Properties	3
Units	3
Material Properties	4
Loads and Fixtures	5
Mesh Information	6
Sensor Details	7
Resultant Forces	8
Study Results	9
Conclusion	12

Description

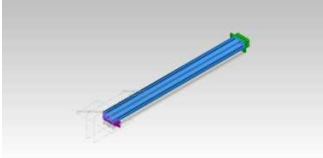
Simulation of the forces applied to the Y coordinate arm in the worst postulation.

Model Information



Model name: Railz_Ycoordinate
Current Configuration: Default

Solid Bodies

Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Extrude1 	Solid Body	Mass:4.94505 lb Volume:17.7764 in^3 Density:0.27818 lb/in^3 Weight:4.94169 lbf	C:\Users\lg0404599\Downloads\3Dprinter_20130417 \Railz_Ycoordinate.SLDPR T Apr 17 18:08:00 2013

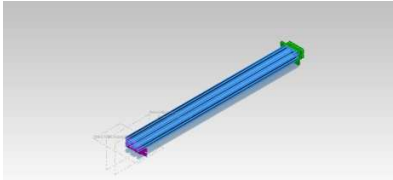
Study Properties

Study name	Study 1
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SolidWorks Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SolidWorks document (C:\Users\g0404599\Downloads\3Dprinter_20130417)

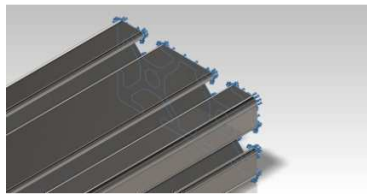
Units

Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m ²

Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	Name: Alloy Steel Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 6.20422e+008 N/m ² Tensile strength: 7.23826e+008 N/m ² Elastic modulus: 2.1e+011 N/m ² Poisson's ratio: 0.28 Mass density: 7700 kg/m ³ Shear modulus: 7.9e+010 N/m ² Thermal expansion coefficient: 1.3e-005 /Kelvin	SolidBody 1(Extrude1)(Railz_Ycoordinate)
Curve Data:N/A		

Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details
Fixed-1		Entities: 1 face(s) Type: Fixed Geometry

Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	30.0023	0.00104874	0.00357592	30.0023
Reaction Moment(N-m)	0	0	0	0

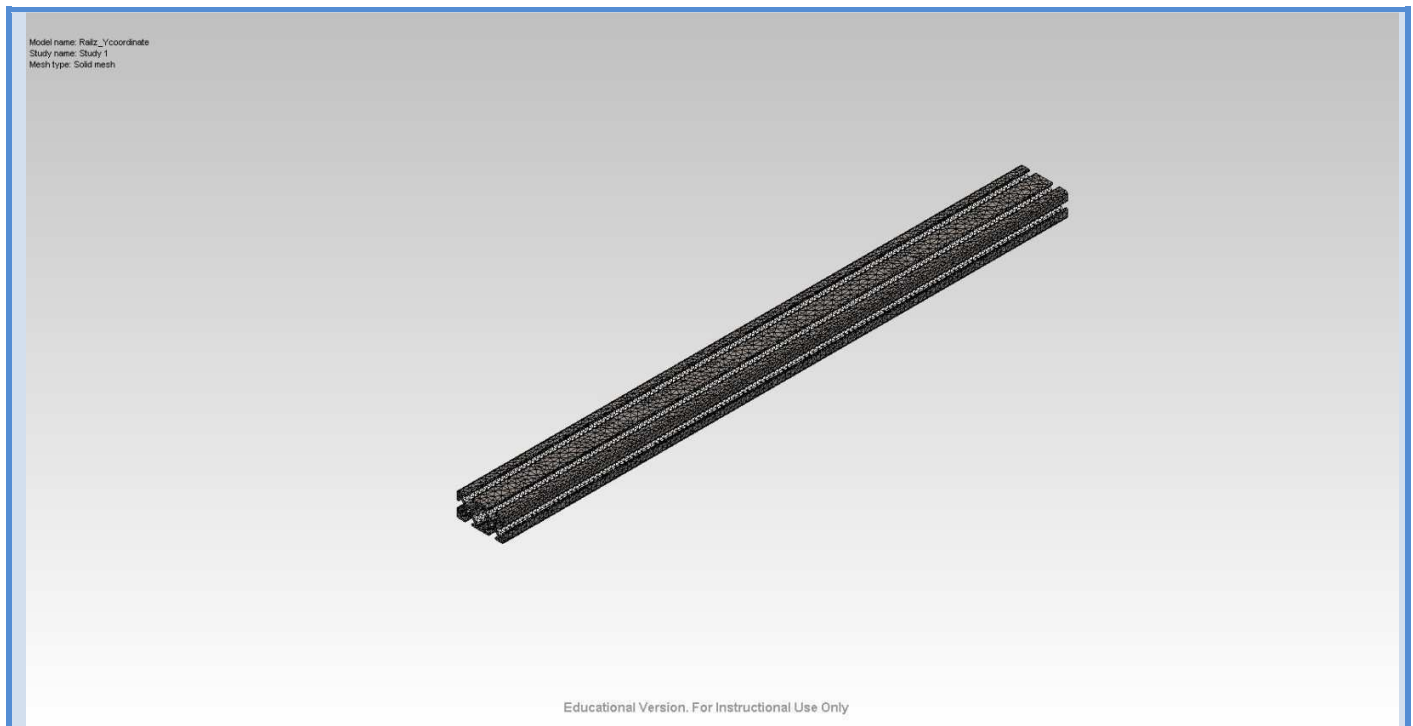
Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 1 face(s) Reference: Edge< 1 > Type: Apply force Values: ---, ---, 30 N

Mesh Information

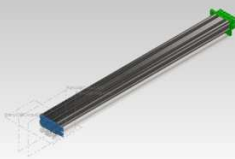
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	19.3428 mm
Minimum element size	3.86856 mm
Mesh Quality	High

Mesh Information - Details

Total Nodes	206425
Total Elements	114322
Maximum Aspect Ratio	67.979
% of elements with Aspect Ratio < 3	51.4
% of elements with Aspect Ratio > 10	5.24
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:21
Computer name:	LUT2135



Sensor Details

Sensor name	Location	Sensor Details
Displacement1		Value : Entities : Result :Displacement Component :URES: Resultant Displacement Criterion :Model Max Step Criterion : Across all Steps Step No.:1 Alert Value: NA

Resultant Forces

Reaction Forces

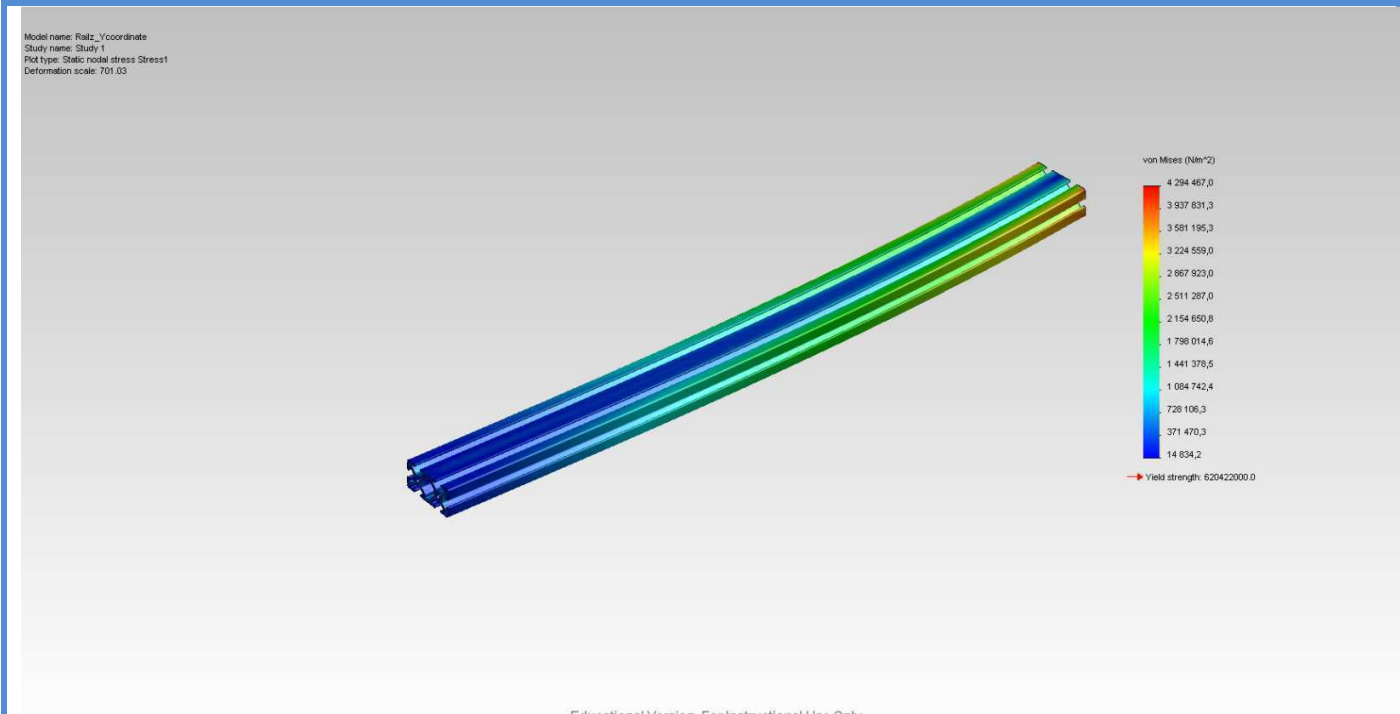
Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	30.0023	0.00104874	0.00357592	30.0023

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N-m	0	0	0	0

Study Results

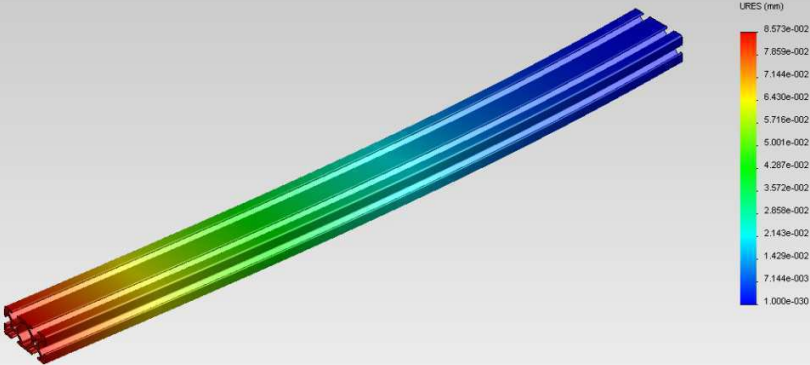
Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	14834.2 N/m^2 Node: 183561	4.29447e+006 N/m^2 Node: 13452



Educational Version. For Instructional Use Only
Railz_Ycoordinate-Study 1-Stress-Stress1

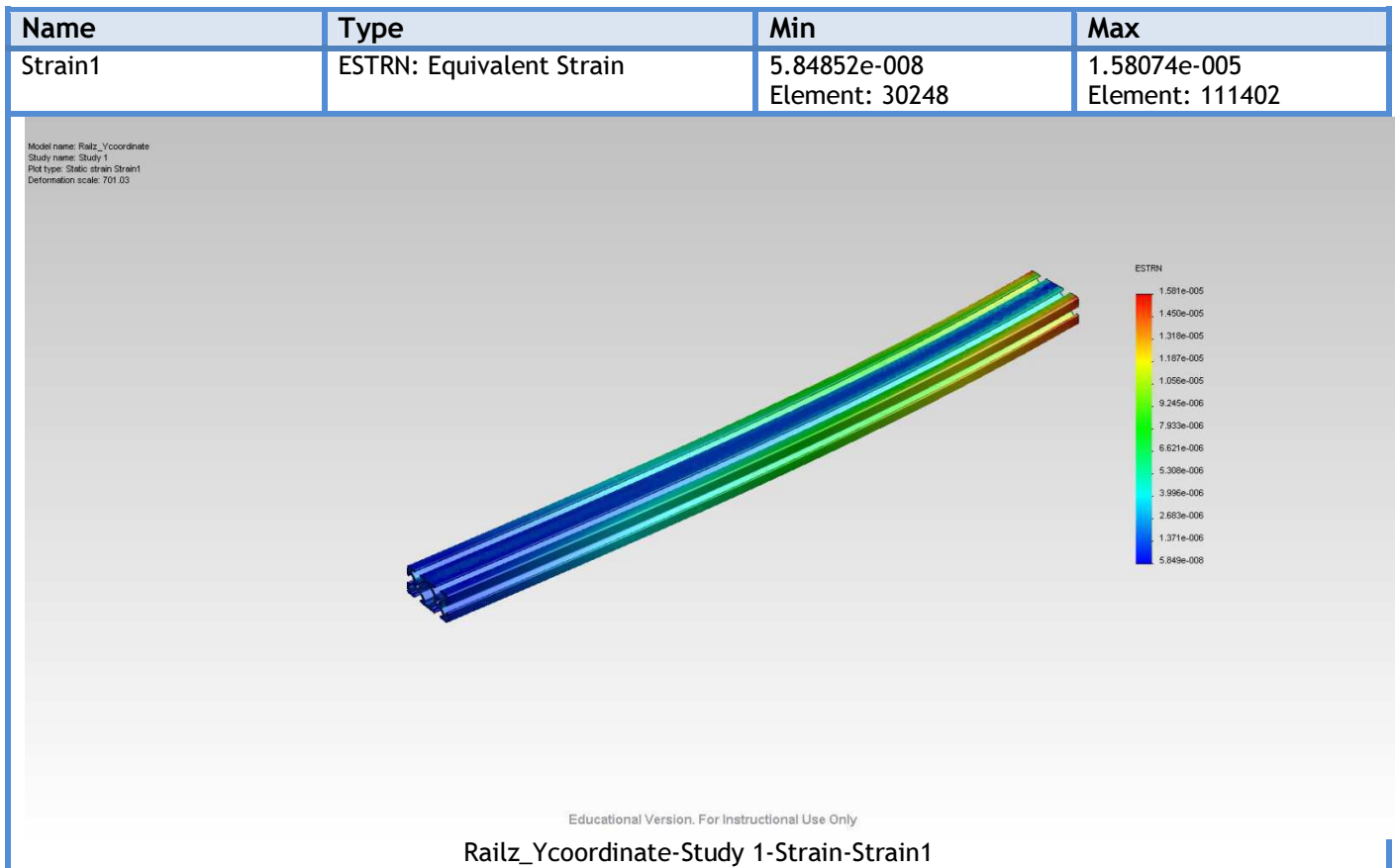
Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 1	0.0857334 mm Node: 13525

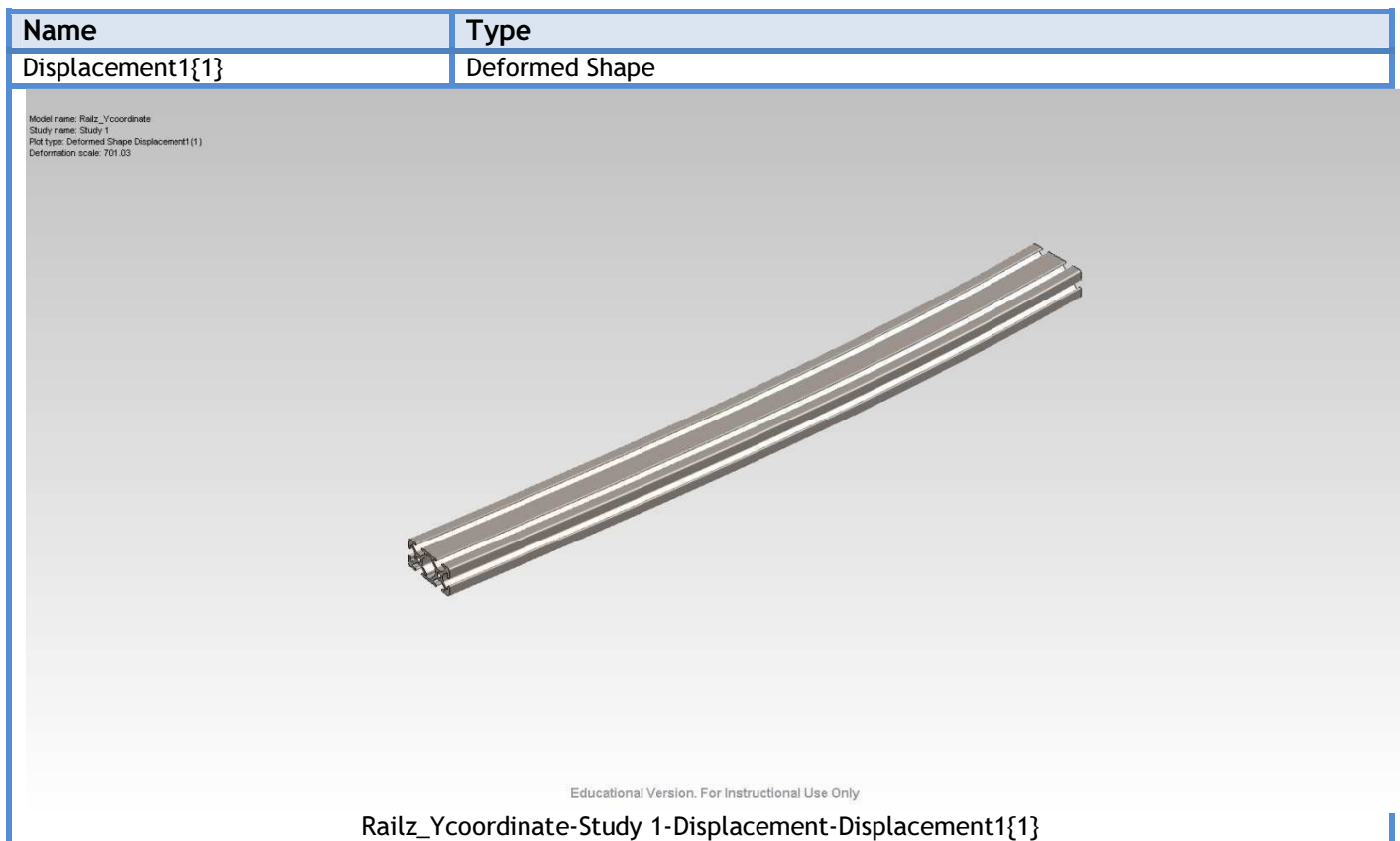
Model name: Railz_Ycoordinate
Study name: Study 1
Plot type: Static displacement Displacement1
Deformation scale: 701.03



Educational Version. For Instructional Use Only

Railz_Ycoordinate-Study 1-Displacement-Displacement1

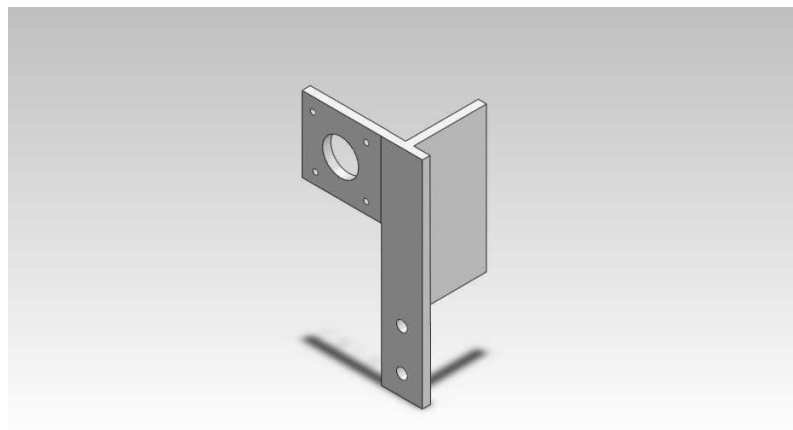




Conclusion

This could be considered as the worst situation, because all the force is applied in one side and the fixtures are all in the opposite side which is not the real situation.

The deformation exceeds the limit so this case could be the border of the design



Descripción

Primer análisis de la pieza encargada de sustentar el motor de la coordenada Z

Simulación de Z Motor Holder 1

Fecha: lunes, 22 de abril de 2013

Diseñador: Rafael Bobo García

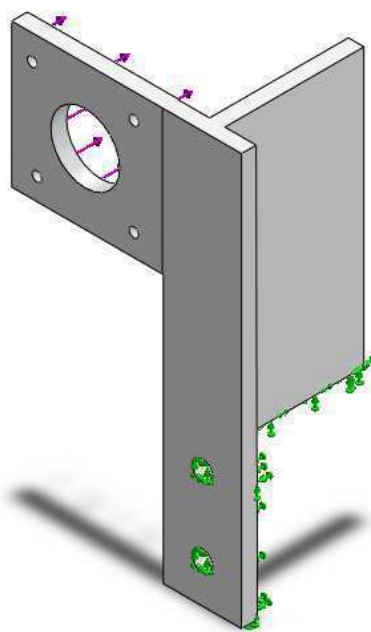
Nombre de estudio: SimulationXpress Study

Tipo de análisis: Estático

Tabla de contenidos

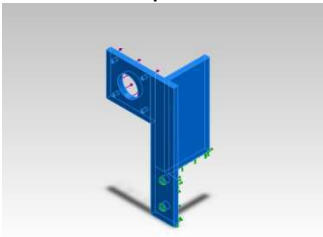
Descripción	1
Información de modelo	2
Propiedades de material	3
Cargas y sujeciones	4
Información de malla	5
Resultados del estudio	7
Conclusión	10

Información de modelo

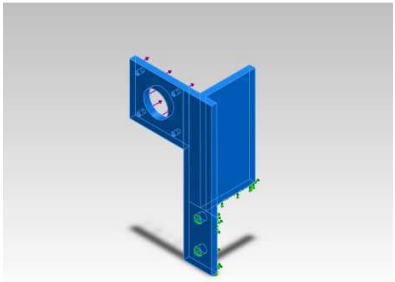


Nombre del modelo: motorhanger
Configuración actual: Predeterminado

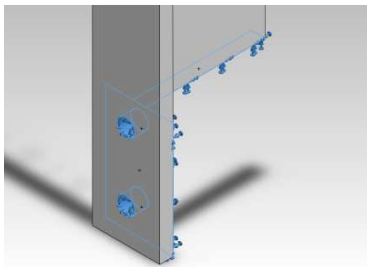
Sólidos

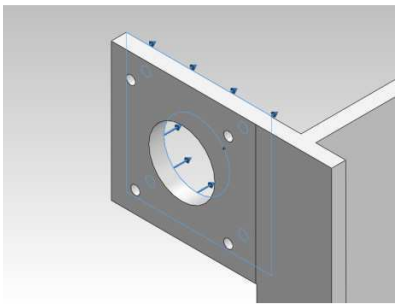
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Línea de partición1 	Sólido	Masa:0.100096 lb Volumen:2.71632 in ³ Densidad:0.0368498 lb/in ³ Peso:0.100028 lbf	C:\Users\Rafael Bobo Garcia\Dropbox\PROYECTO MY 3D DESIGNS\MARZO\motorhanger.SLDPR T Apr 22 20:55:39 2013

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ABS2</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p> <p>Límite elástico: 4.2e+007 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 3e+007 N/m²</p>	Sólido 1(Línea de partición1)(motorhanger)

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-3		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Geometría fija

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-3		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: -33.43 N

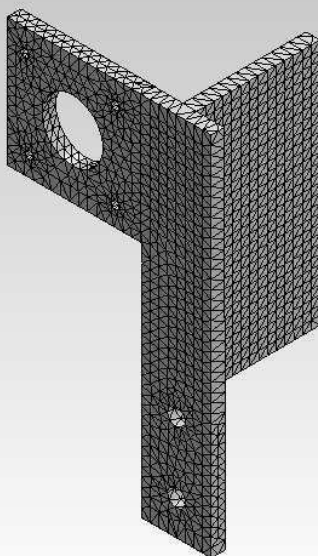
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3.26657 mm
Tolerancia	0.163329 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	20942
Número total de elementos	12121
Cociente máximo de aspecto	19.369
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.1
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.182
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	RAFAELBG-PC

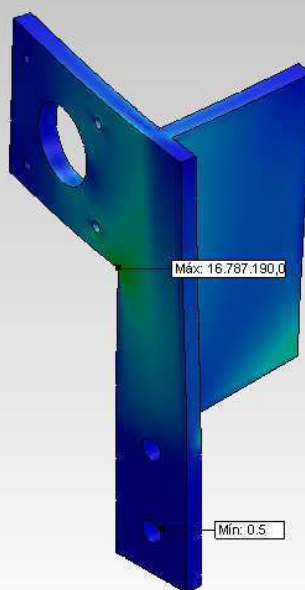
Nombre de modelo: motorhanger
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de malla: Malla de sólido



Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Stress	VON: Tensión de von Mises	0.517263 N/m ² Nodo: 19951	1.67872e+007 N/m ² Nodo: 19643

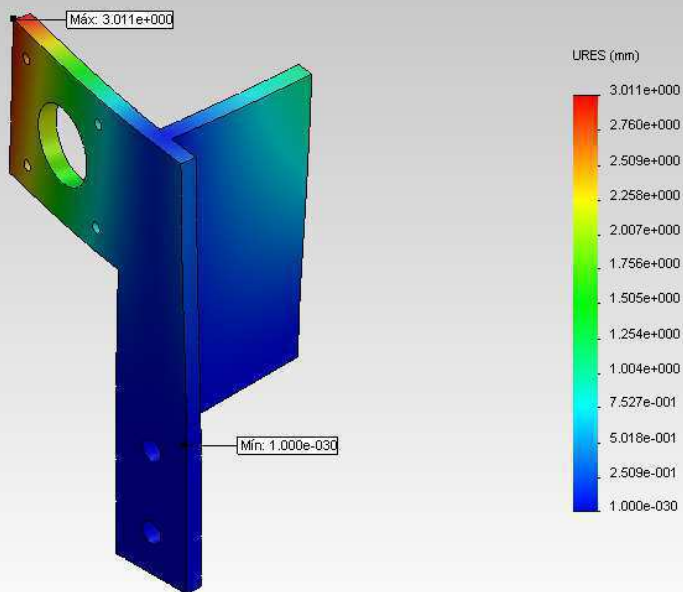
Nombre de modelo: motorhanger
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Static tensión nodal Stress
Escala de deformación: 4.37936



motorhanger-SimulationXpress Study-Tensiones-Stress

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 128	3.01074 mm Nodo: 648

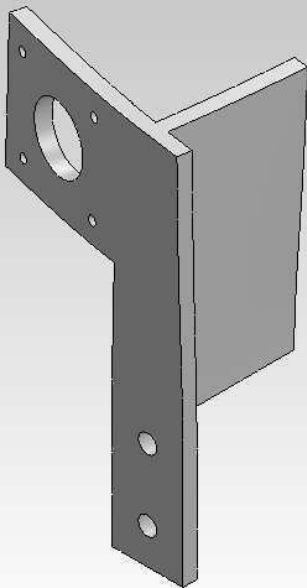
Nombre de modelo: motorhanger
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Displacement
Escala de deformación: 4.37936



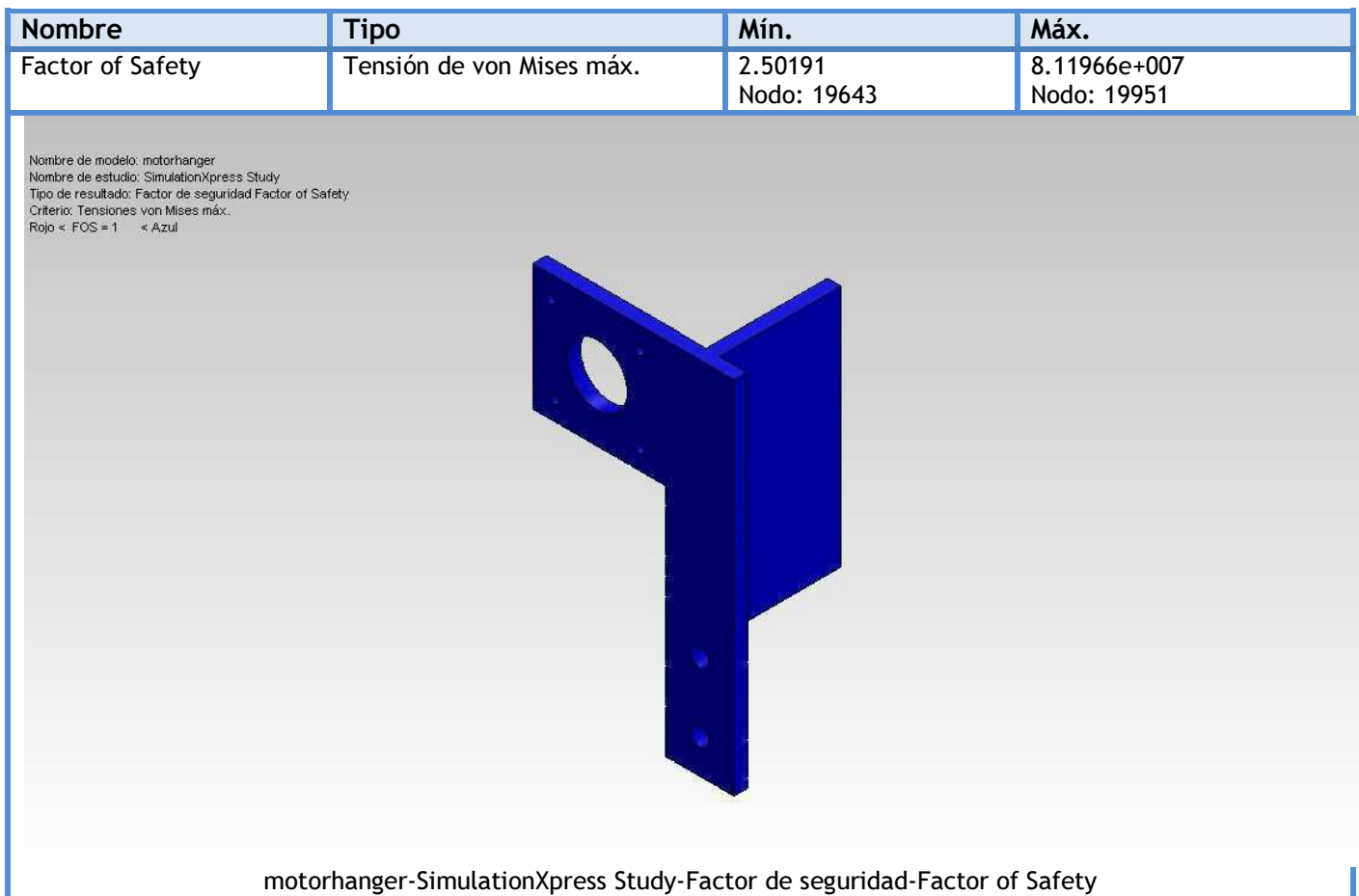
motorhanger-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Displacement

Nombre	Tipo
Deformation	Forma deformada

Nombre de modelo: motorhanger
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Forma deformada Deformation
Escala de deformación: 4.37936

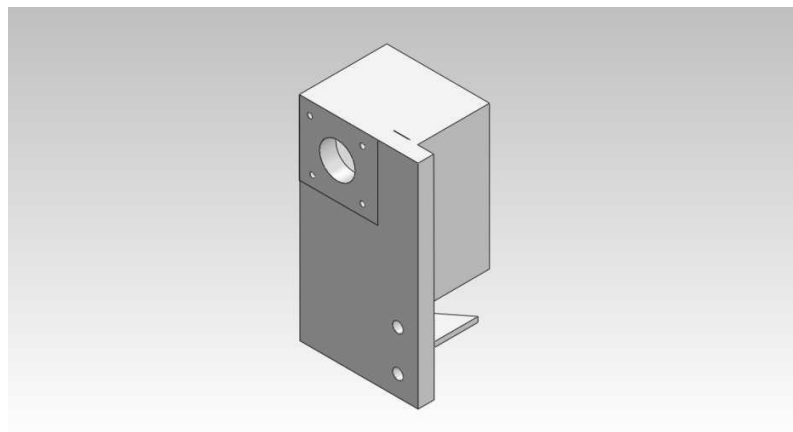


motorhanger-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Deformation



Conclusión

Aunque el factor de seguridad es alto y no hay riesgo de rotura, las deformaciones son demasiado elevadas, por lo que la pieza debe ser optimizada.



Descripción

Segundo diseño de la pieza que sustenta el motor para la coordenada Z. Se han incrementado los grosores de algunas paredes así como añadido ciertos nervios y estructuras de soporte.

Simulación de Z Motor holder

Fecha: lunes, 22 de abril de 2013

Diseñador: Rafael Bobo García

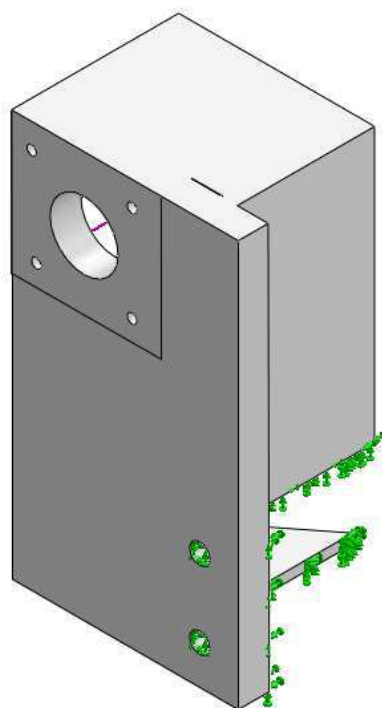
Nombre de estudio: SimulationXpress Study

Tipo de análisis: Estático

Tabla de contenidos


Descripción	1
Información de modelo	2
Propiedades de material	3
Cargas y sujeciones	4
Información de malla	5
Resultados del estudio	7
Conclusión	10

Información de modelo

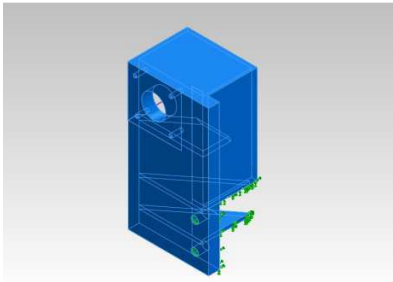


Nombre del modelo: motorhanger
Configuración actual: Predeterminado

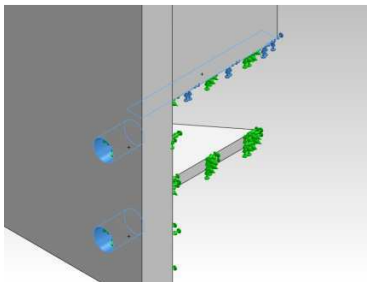
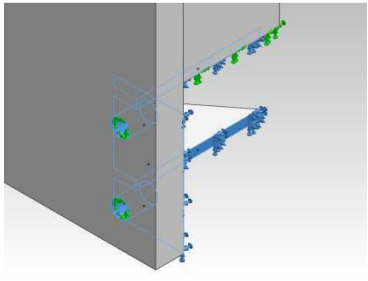
Sólidos

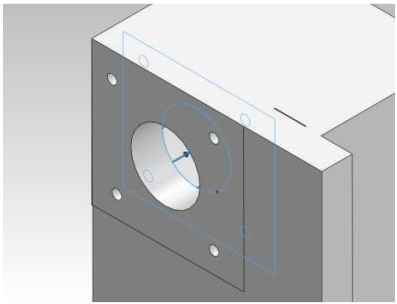
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Línea de partición4 	Sólido	Masa:0.295275 lb Volumen:8.01293 in ³ Densidad:0.0368498 lb/in ³ Peso:0.295075 lbf	C:\Users\Rafael Bobo García\Dropbox\PROYECTO MY 3D DESIGNS\MARZO\motorhanger.SLDPRT Apr 22 19:20:22 2013

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ABS2</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: $4.2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$</p> <p>Límite de tracción: $3 \times 10^7 \text{ N/m}^2$</p>	Sólido 1(Línea de partición4)(motorhanger)

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Geometría fija
Fijo-2		Entidades: 5 cara(s) Tipo: Geometría fija

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: -33.43 N

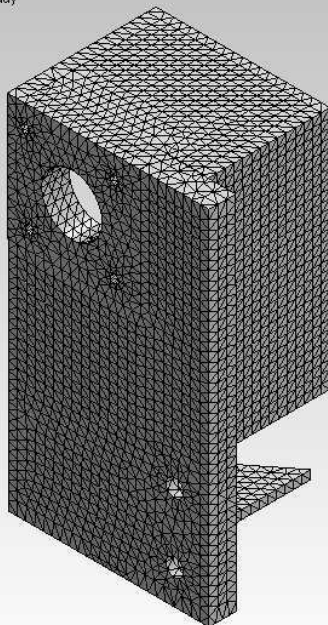
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3.26657 mm
Tolerancia	0.163329 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

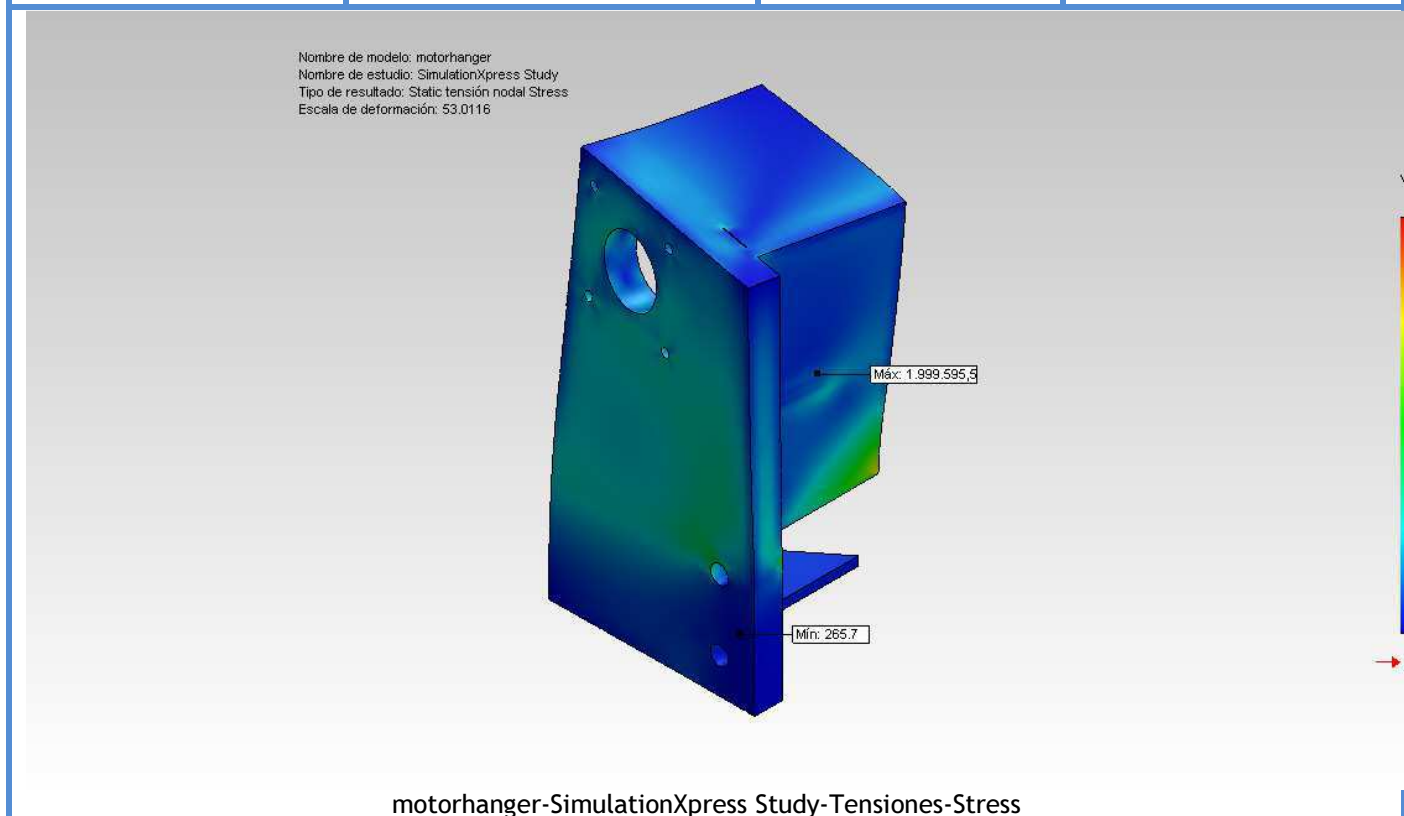
Número total de nodos	48806
Número total de elementos	29672
Cociente máximo de aspecto	16.84
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.128
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:09
Nombre de computadora:	RAFAELBG-PC

Nombre de modelo: motorhanger
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de malla: Malla de sólido



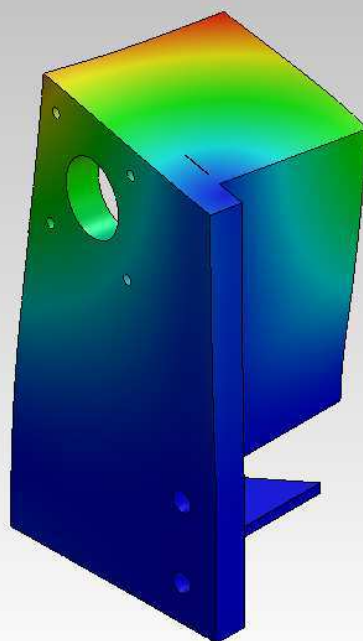
Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Stress	VON: Tensión de von Mises	265.742 N/m ² Nodo: 227	1.9996e+006 N/m ² Nodo: 42288



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 188	0.302204 mm Nodo: 2846

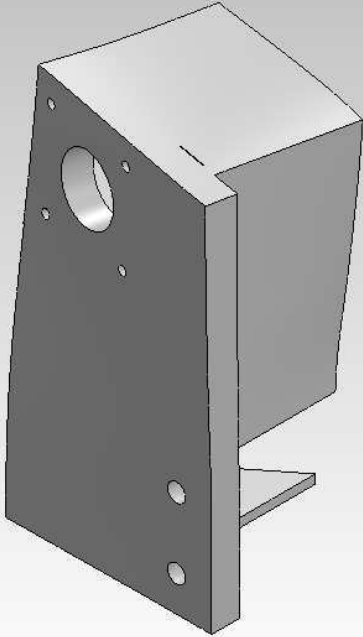
Nombre de modelo: motorhanger
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Displacement
Escala de deformación: 53.0116



motorhanger-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Displacement

Nombre	Tipo
Deformation	Forma deformada

Nombre de modelo: motorhanger
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Forma deformada Deformation
Escala de deformación: 53.0116

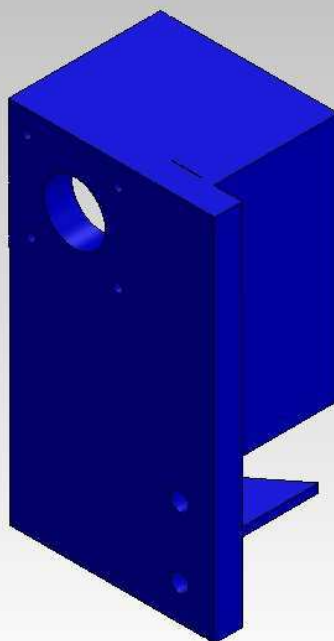


The image shows a 3D CAD model of a motor hanger, a mechanical component used to support a motor. The model is rendered in a dark gray color. It has a rectangular main body with a circular hole on the front face. A smaller, L-shaped flange is attached to the bottom of the main body. The model is shown in a perspective view, highlighting its three-dimensional structure. The background is a light gray gradient.

motorhanger-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Deformation

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	21.0042 Nodo: 42288	158048 Nodo: 227

Nombre de modelo: motorhanger
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Rojo < FOS = 1 < Azul



motorhanger-SimulationXpress Study-Factor de seguridad-Factor of Safety

Conclusión

Como se puede ver el factor de seguridad es alto. Por otro lado la deformación alcanza y supera los 0.05 mm, pero es importante mencionar que este valor no se traduce en una deformación directa de la posición del cabezal. La actuación extra del tornillo adosado al motor rigidiza la pieza de manera que esta deformación se reduce notablemente, por lo que este valor es totalmente asumible.

Beam Fixed Two Ends Deflection Report

80/20[®] Inc.
The Industrial Erector Set[®]

Profile:

2020

Load:

83,79 Lbs.

38 Kg.

Yield Strength:

35000 Lbs. / Sq. In.

241,3 N/mm²

Length:

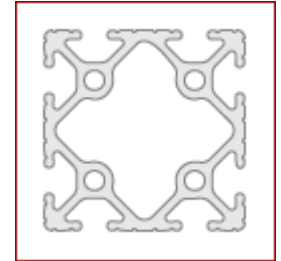
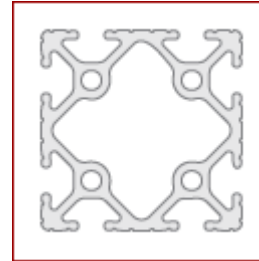
23,62 In.

600 mm

Modulus Of Elasticity:

10200000 Lbs. / Sq. In.

70326,5 N/mm²



Moment Of Inertia X:

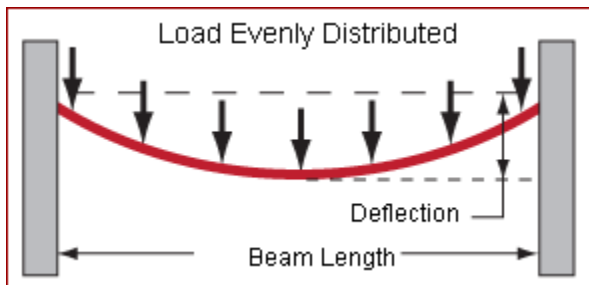
0,5509 In.⁴

22,930189 cm⁴

Moment Of Inertia Y:

0,5509 In.⁴

22,930189 cm⁴



Deflection X

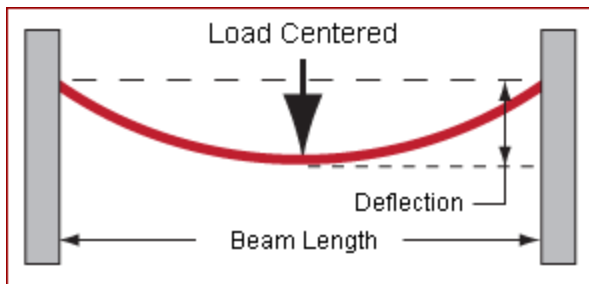
0,001 In.

0,0253 mm

Deflection Y

0,0038 In.

0,0964 mm



Deflection X

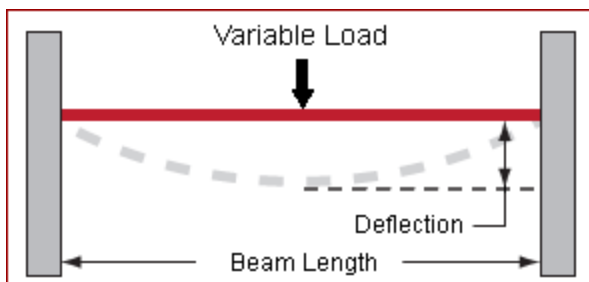
0,002 In.

0,0498 mm

Deflection Y

0,0075 In.

0,1897 mm



Length From Left

11,81 In.

299,974 mm

Length From Right

11,81 In.

299,974 mm

Deflection X

0,002 In.

0,0498 mm

Deflection Y

0,0075 In.

0,1872 mm

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES

CÁTEDRA DE PROYECTOS

**“Diseño de una impresora 3D capaz de
crear múltiples objetos simultáneamente”**

PROYECTO FIN DE CARRERA

Nº 13406046

PRESUPUESTO



RAFAEL BOBO GARCÍA

SEPTIEMBRE 2013

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

V.1	INTRODUCCIÓN	3
V.2	ESTUDIOS PREVIOS	3
V.3	DISEÑO CAD	4
V.4	ELABORACIÓN MEMORIA	4
V.5	DESGLOSE.....	5
V.6	PROTOTIPO	6
V.7	COMENTARIOS.....	8

V.1 INTRODUCCIÓN

En éste anexo se realiza una valoración del coste incurrido en el proyecto. Al ser un proyecto principalmente teórico, sin haber llegado a realizar un prototipo final de la máquina, los costes estarán básicamente divididos entre las diferentes fases del proyecto, desde estudios previos y elaboración del modelo CAD hasta la escritura de la memoria y su depuración. A su vez, dichas fases constarán de gastos englobados en dos familias: dedicación temporal de autor del proyecto y el uso de equipos informáticos.

Por último, a título orientativo, pese a no haber desarrollado el prototipo de la máquina, se hará un presupuesto de lo que costaría fabricar ese primer modelo.

V.2 ESTUDIOS PREVIOS

Extracto del presupuesto de los conceptos relacionados con los estudios previos al desarrollo técnico del modelo de la impresora.

CÁTEDRA DE PROYECTOS	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CAPAZ DE IMPRIMIR MÚLTIPLES COPIAS SIMULTÁNEAMENTE					E.T.S.I.I U.P.M
Nº de orden	PRESUPUESTO					
	CONCEPTOS	Nº UNIDAD	Precio unitario		Importe	
1	Lectura de normativa de proyectos	10	8,75	€/hora	87,5	€
2	Lecturas preliminares	50	8,75	€/hora	437,5	€
3	Propuesta del proyecto	5	8,75	€/hora	43,75	€
4	Establecimiento de objetivos	6	8,75	€/hora	52,5	€
5	Equipo informático	0,08	700	€/2 años	56	€
TOTAL					677,25	€
Nombre: Rafael Bobo García Número: 06046			Documento: Presupuesto-Estudios previos			

Table. 1 Presupuesto Estudios previos

V.3 DISEÑO CAD

Parte del presupuesto relacionada con la creación y el desarrollo del modelo CAD completo de la impresora 3D.

CÁTEDRA DE PROYECTOS	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CAPAZ DE IMPRIMIR MÚLTIPLES COPIAS SIMULTÁNEAMENTE					E.T.S.I.I U.P.M
Nº de orden	PRESUPUESTO					
	CONCEPTOS	Nº UNIDAD	Precio unitario		Importe	
1	Formación en el manejo del programa CAD	125	8,75	€/hora	1093,75	€
2	Diseño conceptual	50	8,75	€/hora	437,5	€
3	Elaboración del modelo CAD	400	8,75	€/hora	3500	€
4	Cálculos mecánicos	100	8,75	€/hora	875	€
5	Equipo informático	0,25	700	€/2 años	175	€
6	Licencia SolidWorks	0,15	15.000	€/3 años	2250	€
TOTAL					8831,25	€
Nombre: Rafael Bobo García Número: 06046			Documento: Presupuesto-Diseño CAD			

Table. 2 Presupuesto Diseño CAD

V.4 ELABORACIÓN MEMORIA

CÁTEDRA DE PROYECTOS	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CAPAZ DE IMPRIMIR MÚLTIPLES COPIAS SIMULTÁNEAMENTE					E.T.S.I.I U.P.M
Nº de orden	PRESUPUESTO					
	CONCEPTOS	Nº UNIDAD	Precio unitario		Importe	
1	Formación en el manejo de Microsoft Project	5	8,75	€/hora	43,75	€
2	Elaboración de la memoria	150	8,75	€/hora	1312,5	€
3	Elaboración del resumen	50	8,75	€/hora	437,5	€
4	Anexos	20	8,75	€/hora	175	€
5	Revisiones	50	8,75	€/hora	437,5	€
6	Preparación presentación	10	8,75	€/hora	87,5	€
7	Impresión	600	0,06	€/página	36	€
8	Licencia Office	0,3	1.000	€/3 años	1000	€
9	Licencia Microsoft Project	0,3	0	€/3 años	0	€
TOTAL					3529,75	€
Nombre: Rafael Bobo García Número: 06046			Documento: Presupuesto-Elaboración memoria			

Table. 3 Presupuesto Elaboración memoria

V.5 DESGLOSE

Presupuesto resultante en las tres fases principales así como desglosado por el tipo de concepto (horas o equipos).

CÁTEDRA DE PROYECTOS	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CAPAZ DE IMPRIMIR MÚLTIPLES COPIAS SIMULTÁNEAMENTE					E.T.S.I.I U.P.M
Nº de orden	PRESUPUESTO					
	CONCEPTOS	Nº UNIDAD	Precio unitario		Importe	
1	Estudios previos	1	677,25	€	677,25	€
2	Diseño CAD	1	8331,25	€	8331,25	€
3	Elaboración memoria	1	3529,75	€	3529,75	€
TOTAL					12538,25	€
Nombre: Rafael Bobo García Número: 06046			Documento: Presupuesto-Fases			

Table. 4 Presupuesto Fases

CÁTEDRA DE PROYECTOS	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CAPAZ DE IMPRIMIR MÚLTIPLES COPIAS SIMULTÁNEAMENTE					E.T.S.I.I U.P.M
Nº de orden	PRESUPUESTO					
	CONCEPTOS	Nº UNIDAD	Precio unitario		Importe	
1	Horas de trabajo	1031	8,75	€/hora	9021,25	€
1.2	Lectura de normativa de proyectos	10	8,75	€/hora	87,5	€
1.2	Lecturas preliminares	50	8,75	€/hora	437,5	€
1.3	Propuesta del proyecto	5	8,75	€/hora	43,75	€
1.4	Establecimiento de objetivos	6	8,75	€/hora	52,5	€
1.5	Formación en el manejo del programa CAD	125	8,75	€/hora	1093,75	€
1.6	Diseño conceptual	50	8,75	€/hora	437,5	€
1.7	Elaboración del modelo CAD	400	8,75	€/hora	3500	€
1.8	Cálculos mecánicos	100	8,75	€/hora	875	€
1.9	Formación en el manejo de Microsoft Project	5	8,75	€/hora	43,75	€
1.10	Elaboración de la memoria	150	8,75	€/hora	1312,5	€
1.11	Elaboración del resumen	50	8,75	€/hora	437,5	€
1.12	Anexos	20	8,75	€/hora	175	€
1.13	Revisiones	50	8,75	€/hora	437,5	€
1.14	Preparación presentación	10	8,75	€/hora	87,5	€
2	Equipos Informáticos	1	3517	€	3517	€
2.1	Equipo informático CAD	0,08	700	€/2 años	56	€
2.2	Equipo informático Memoria	0,25	700	€/2 años	175	€
2.3	Licencia SolidWorks	0,15	15.000	€/3 años	2250	€
2.4	Licencia Office	0,3	1.000	€/3 años	1000	€

2.5	Licencia Microsoft Project	0,3	0	€/3 años	0	€
2.6	Impresión	600	0,06	€/página	36	€
TOTAL					12538,25	€
Nombre: Rafael Bobo García Número: 06046			Documento: Presupuesto-Total desglosado			

Table. 5 Presupuesto Total desglosado

V.6 PROTOTIPO

Presupuesto orientativo para la fabricación casera de un primer prototipo. Incluye los gastos básicos en materiales y la dedicación horaria. Se han excluido otras consideraciones o gastos más genéricos y se ha supuesto que para las piezas impresas solo se pagaría por el material (no por el uso derivado de otra impresora).

CÁTEDRA DE PROYECTOS	DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D CAPAZ DE IMPRIMIR MÚLTIPLES COPIAS SIMULTÁNEAMENTE					E.T.S.I.I U.P.M
Nº de orden	PRESUPUESTO					
	CONCEPTOS	Nº UNIDAD	Precio unitario		Importe	
10	Base	1	10	€	10	€
11	Geared Shaft	2	0.039	€	0,078	€
12	Hexagon Flange Nut M6	43	0.03	€	1,29	€
13	Hexagon Flange Nut M8	9	0.03	€	0,27	€
14	Hexagon Flange Nut M5	52	0.03	€	1,56	€
15	Nema17	4	15	€	60	€
16	Endcap	2	1	€	2	€
17	DIN 625 - 608 - Bearing	6	0.03	€	0,18	€
18	Connector	1	0.4569	€	0,4569	€
19	Geared Shaft	1	0.516	€	0,516	€
20	ISO 4015 - M8 x 60 x 22-N	1	0.03	€	0,03	€
21	ISO 4015 - M8 x 50 x 22-N	1	0.03	€	0,03	€
22	ISO 4015 - M8 x 70 x 70-N	1	0.03	€	0,03	€
23	Washer ISO 7090 - 8	5	0.03	€	0,15	€
24	Carriage's wheels	8	3,63	€	29,04	€
25	X Rail	1	10	€	10	€
26	8020-25-4135	4	5	€	20	€
27	NozzlesConnector	1	25	€	25	€
28	nozzle	4	60	€	240	€
29	DIN 525 - M8 x 140 --- 40N	2	0.03	€	0,06	€
30	DIN 525 - M6 x 130 --- 35N	1	0.03	€	0,03	€
31	Connector	1	0.5	€	0,5	€
32	bed	4	60	€	240	€
33	Z Rail	2	10	€	20	€
34	Y Rail	1	10	€	10	€
35	ISO 4762 M6 x 10 --- 10N	25	0.03	€	0,75	€
36	ISO 4762 M6 x 16 --- 16N	6	0.03	€	0,18	€

37	ISO 4762 M8 x 45 --- 28N	1	0.03	€	0,03	€
38	ISO 4762 M6 x 50 --- 50N	2	0.03	€	0,06	€
39	ISO 4762 M6 x 50 --- 24N	6	0.03	€	0,18	€
40	ISO 4762 M6 x 40 --- 24N	16	0.03	€	0,48	€
41	ISO 4762 M6 x 60 --- 60N	5	0.03	€	0,15	€
42	ISO 4762 M6 x 25 --- 25N	2	0.03	€	0,06	€
43	ISO 4762 M6 x 12 --- 12N	12	0.03	€	0,36	€
44	ISO 4762 M4 x 6 --- 6N	7	0.03	€	0,21	€
45	ISO 4762 M3 x 5 --- 5N	16	0.03	€	0,48	€
46	ISO 4762 M8 x 55 --- 55N	3	0.03	€	0,09	€
47	ISO 4762 M2.5 x 4 --- 4N	4	0.03	€	0,12	€
48	ISO 4762 M5 x 50 --- 50N	16	0.03	€	0,48	€
49	Connector	1	1.65	€	1,65	€
50	Motor Holder	1	0.8	€	0,8	€
51	Hexagon Nut ISO-4034-M6	1	0.03	€	0,03	€
52	Hexagon Nut ISO-4034-M8	1	0.03	€	0,03	€
53	8020-25-111_FORx_INVERSE	1	0.87	€	0,87	€
54	Gear Belt Support	1	0.56	€	0,56	€
55	Connector	1	0.46	€	0,46	€
56	Bed_connector	1	62.16	€	62,16	€
57	Stepper motor drive	4	15	€	60	€
58	ExtruderaBlock_contra	1	0.9	€	0,9	€
59	Geared Wheel 1	1	0.43	€	0,43	€
60	Geared Wheel 2	1	4.02	€	4,02	€
61	ExtruderaBlock	1	1.6	€	1,6	€
62	T-nut-Square.14124	11	0.05	€	0,55	€
63	beltjoint	2	0.6	€	1,2	€
64	Belt1	2	19	€	38	€
65	Belt2	1	19	€	19	€
66	Washer ISO 7089 - 8	7	0.03	€	0,21	€
67	DIN 914 - M2 x 3-N	1	0.03	€	0,03	€
68	motorhanger	1	2.3	€	2,3	€
69	Spool Holder	4	10	€	40	€
70	ScrewReceptor	1	0.35	€	0,35	€
71	ATX power supply	1	60	€	60	€
72	Controller Board	1	170	€	170	€
73	Base 1	1	10	€	10	€
74	Top End	3	1	€	3	€
75	Base 2	1	10	€	10	€
76	ABS Roll	4	30	€	120	€
77	Assembly	50	8,75	€/h	120	€
TOTAL					1403	€
Nombre: Rafael Bobo García Número: 06046			Documento: Presupuesto- Elaboración prototipo			

Table. 6 Presupuesto Prototipo

V.7 COMENTARIOS

El coste de las horas de trabajo han sido estimadas con base al sueldo de ingeniero recién incorporado a una empresa de Nuevas Tecnologías, según convenio unos 1500 €/mes con un trabajo de 8 horas diarias en 14 pagas y 1 mes de vacaciones. Según convenio la hora es valorada a 8'75 €/hora.

Respecto al coste de los equipos, se ha utilizado un ordenador portátil, valorado en 700 € y que se considerará amortizado en 2 años, por lo que para el proyecto solo influirá un porcentaje, prorrateado según los meses de cada fase. Mismo procedimiento se ha realizado con las licencias de software. Para la de SolidWorks, Microsoft Office y Microsoft Project se ha considerado una amortización en 3 años, si bien en caso de no realizar el prototipo, es posible utilizar licencias académicas.

Respecto al modelo prototipo, destacar que es un presupuesto orientativo basado en la lista de materiales elaborada y considerando que el ensamblaje se realizaría también por un ingeniero con el mismo sueldo, si bien estas estimaciones podrían variar. En el caso de decidir producir la impresora en serie habría que recalcular los presupuestos, obteniendo probablemente un precio menor por unidad.

Con ello se concluye que el coste del prototipo, en caso de fabricarse sería de 1403 € (mil cuatrocientos tres) y el coste del proyecto asciende a la cantidad de **12538,25 € (doce mil quinientos treinta y ocho con veinticinco)**.